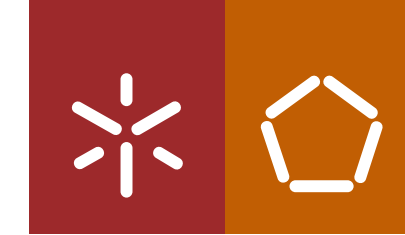




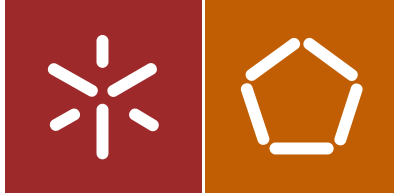
Diana Sofia Araújo Santos

Avaliação de sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação de edifícios

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Diana Sofia Araújo Santos

Avaliação de sistemas de aquecimento,  
arrefecimento e ventilação de edifícios

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Luís Brangança  
Doutora Joana Andrade

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração deste projeto marca o fim de um percurso exigente, desafiante e acima de tudo enriquecedor a vários níveis. Para além da formação profissional, levo as memórias e experiências que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e acima de tudo, interpessoal.

Ao meu orientador, Professor Luís Bragança, agradeço por me ter orientado, e também pelo convite ao desenvolvimento de um artigo.

À minha Co-orientadora, Doutora Joana Andrade, por todo o incentivo e apoio demonstrados, ao longo deste período. Por me ter transmitido a confiança e segurança necessárias. Pelos conselhos no momento certo. Muito obrigada.

Ao Professor Dinis Leitão, por autorizar a utilização do projeto da UC de Comportamento Termo- Energético de Edifícios do Perfil de Construções, do ano letivo 2016/2017.

A todos os docentes que lecionam no Departamento de Engenharia Civil, que foram essenciais na minha aprendizagem ao longo destes cinco anos.

Aos colegas de curso, que especialmente nesta fase final, fizeram com se originasse uma corrente de energia e partilha, entre todos.

Aos amigos de sempre, por terem sempre uma palavra de conforto e ânimo!

Às amigas, que levo no meu coração, para a vida toda. Um agradecimento muito especial às minhas parceiras nesta viagem: Ana e Marisa. Por todos os momentos partilhados, por todas as conquistas, que juntas, alcançamos.

Por fim, dedico esta dissertação à minha Família. Razão de tudo: mãe, pai, irmã, avós. Não tenho palavras! Pelo apoio incondicional, pelo vosso amor e compreensão, nesta fase tão importante para mim. Sem dúvida, que são os meus pilares!

A todos, muito obrigada!



## RESUMO

O bem-estar do ser humano é fundamental para promover a qualidade de vida, melhorar o rendimento no trabalho e a interação saudável com os outros. O conforto térmico foi o impulsionador para o desenvolvimento dos sistemas técnicos. Os sistemas técnicos de climatização – aquecimento, arrefecimento e ventilação – e de água quente sanitária, são uma mais-valia na melhoria do clima interior, no entanto, o seu uso excessivo levou ao aumento do consumo da energia final. A nova diretiva EPBD Recast, estipula que após 2020, se devem atingir balanços energéticos e emissões de carbono quase nulas. No entanto, é impossível atingir esse objetivo se não se atuar nos edifícios existentes. Desenvolveram-se dois projetos, com o auxílio da plataforma do *ITeCons*: reabilitação e edifício novo. Procedeu-se à reabilitação do edifício, primando pelas soluções passivas. Apenas com a melhoria das soluções construtivas, a classe energética subiu de imediato duas classes e as necessidades de energia úteis reduziram para cerca de metade. No projeto do edifício novo, adotaram-se soluções utilizadas atualmente, obtendo-se a classe A, na escala da eficiência energética. As famílias portuguesas optam maioritariamente, pela utilização do esquentador para águas quentes sanitárias e pelo multi-split para arrefecimento. Estes equipamentos revelaram-se efetivamente boas soluções, quando combinadas com renováveis térmica e elétrica, respetivamente. A caldeira, utilizada de forma única, para aquecimento central é o eleito, no âmbito nacional, no entanto, verificou-se que a caldeira combinada para a produção de águas quentes sanitárias e aquecimento do ambiente, sobe a eficiência energética para a classe máxima, resultando numa redução do consumo da energia, e diminuindo os custos anuais. A ventilação também foi verificada por duas soluções: aberturas autorreguláveis na envolvente e condutas de exaustão, bem como ventilação mecânica com recuperação de calor (VMRC). Percebeu-se que, a última solução é mais indicada para edifícios com necessidades de energia quase nulas, na medida em que, o calor recuperado do ar de extração é suficiente para colmatar essas necessidades. No edifício novo, existiam necessidades de aquecimento inferiores às verificadas no reabilitado. No entanto, verificou-se que, a implementação da VMRC, no edifício novo, conseguiu suprimir ligeiramente a necessidade de aquecimento, sendo que no edifício reabilitado, não se verificaram diferenças. Conclui-se que, um estudo eficaz ao nível da envolvente do edifício, na fase de projeto, aliado à utilização consciente de sistemas ativos e combinados com as renováveis disponíveis no ambiente, garantem a melhor eficiência energética do edifício, com reduções da fatura energética bastante aliciantes.

Palavras-chave: Conforto térmico, Consumo da energia final, Sistemas de climatização e AQS, Eficiência Energética, Soluções Passivas



## ABSTRACT

The well-being is fundamental to promote people's quality of life, improve their productivity and social interaction. The need for thermal comfort drove the development of technical building systems for indoor climatic control. The technical equipment for the heating, cooling, ventilation, and hot water preparation play a relevant role in the improvement of the interior climatic conditions, however, their excessive use led to an increase in the final energy consumption. The new EPBD Recast directive stipulates that, after 2020, building should be nearly zero energy buildings with reduced CO<sub>2</sub> emissions. However, it is impossible to achieve this goal without acting in existing buildings. In order to verify how to achieve this goal, two case studies – a rehabilitation and a new construction projects of a single family building – were carried out using the ITeCons' platform. The rehabilitation project case study focused on studying passive design solutions. It was verified that only with the improvement of the building construction solutions, the energy efficiency level raise two levels and the energy needs halved. In the new construction case study, technical building systems currently used were adopted, resulting in an energy efficiency level A. The Portuguese families usually choose boilers for hot water preparation and a multi-split equipment for cooling. These equipment have proved to be efficient solutions when combined with renewable energy systems, as thermal and electric, respectively. The boiler used just for heating is the national common practice. However, it was verified that when used also for hot water preparation, the energy efficiency increases up to its maximum energy class level, resulting in reduced energy consumption and annual costs. The needs for ventilation was also analysed by two solutions: self-regulating openings in the envelope and exhaust ducts, as well as mechanical ventilation with heat recovery (VMRC). It has been realised that the latter suits best buildings with nearly zero energy requirements, as the heat recovered from the air extraction is sufficient to meet those needs. The heating needs in the new construction were lower than those verified in the rehabilitation project. However, it was found that the implementation of the VMRC in the new building managed to slightly suppress the heating needs, and in the rehabilitated building, there were no differences. Therefore, it was concluded that an effective study of the building envelope, during the design phase, together with a conscious use of technical systems combined with the renewable energy sources, guarantee the higher energy efficient buildings, with attractive energy-related costs reductions.

Key words: Thermal comfort, Final energy consumption, HVAC systems and DHW, Energy efficiency, Passive design





## INDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	xv
INDICE DE TABELAS .....	xvii
LISTA DE SIGLAS .....	xix
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Perspetiva Geral .....	1
1.2. Motivação, Objetivos e Contribuição da dissertação .....	4
1.3. Estrutura geral da dissertação e metodologia aplicada.....	6
2. SETOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL.....	9
2.1. O Panorama Energético.....	9
2.2. Utilização da Energia nos Edifícios .....	12
2.3. Equipamentos Energéticos mais utilizados .....	13
2.3.1. Aquecimento ambiente.....	14
2.3.2. Arrefecimento.....	15
2.3.3. Águas quentes sanitárias .....	15
2.4. Evolução Legislativa em Portugal.....	16
2.4.1. Sistema de Certificação Energético de Edifícios.....	17
3. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS	
21	
3.1. Sistemas Ativos .....	22
3.1.1. Soluções e sistemas de Climatização .....	23
3.1.1.1. Equipamentos Fixos .....	24
3.1.1.2. Equipamentos móveis .....	30
3.1.2. Soluções e sistemas de produção AQS.....	31
3.1.2.1. Sistema solar térmico .....	31
3.1.2.2. Sistemas de apoio .....	33
3.2. Soluções Passivas .....	35
3.2.1. Desenho solar passivo .....	36
4. VENTILAÇÃO .....	45
4.1. Ventilação Natural.....	45
4.2. Ventilação Mecânica .....	47
4.3. Ventilação Híbrida .....	48
4.4. Sistemas de Ventilação Geotérmica – solução alternativa e eficiente.....	48

4.4.1.	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	49
4.4.1.1.	Unidades de apoio .....	49
5.	CASO DE ESTUDO .....	51
5.1.	Descrição do Edifício .....	51
5.2.	Caso de Estudo 1 – Reabilitação .....	51
5.2.1.	Dados Climáticos de Leiria .....	52
5.2.2.	Introdução das soluções dos elementos construtivos no programa IteCons e Classe energética inicial.....	52
5.2.3.	Alteração das soluções construtivas – soluções passivas- e satisfação das necessidades de ventilação.....	53
5.2.4.	Instalação do sistema de águas quentes sanitárias .....	55
5.2.5.	Simulação dos sistemas ativos para aquecimento.....	55
5.2.6.	Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria.....	56
5.3.	Caso de Estudo 2 – Projeto de Edifício Novo .....	57
5.3.1.	Dados climáticos de Évora .....	57
5.3.2.	Introdução das soluções construtivas e classe energética inicial .....	57
5.3.3.	Satisfação das necessidades de ventilação e instalação de águas quentes sanitárias .....	58
5.3.4.	Simulação do sistema de arrefecimento/ aquecimento .....	59
5.3.5.	Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria.....	59
5.4.	Análise de resultados .....	60
5.4.1.	Caso de estudo 1 - Edifício a reabilitar.....	60
5.4.1.1.	Alteração das soluções construtivas – aplicação de soluções passivas.....	60
5.4.1.1.1.	Análise económica.....	61
5.4.1.2.	Satisfação das necessidades de ventilação.....	62
5.4.1.2.1.	Análise económica.....	62
5.4.1.3.	Simulação de sistemas ativos para preparação de águas quentes sanitárias .....	63
5.4.1.3.1.	Análise económica.....	64
5.4.1.4.	Simulação de sistemas ativos para aquecimento .....	65
5.4.1.4.1.	Análise económica.....	65
5.4.1.5.	Análise de possíveis medidas de melhoria .....	66
5.4.1.5.1.	Análise económica.....	69
5.4.1.6.	Discussão e considerações do caso de estudo 1.....	75
5.4.2.	Caso de Estudo 2 - Edifício novo .....	76
5.4.2.1.	Introdução das soluções construtivas e classe energética .....	76
5.4.2.2.	Satisfação das necessidades de ventilação.....	76
5.4.2.2.1.	Análise económica.....	77
5.4.2.3.	Simulação de sistemas ativos para produção de águas quentes sanitárias (AQS) .....	77
5.4.2.3.1.	Análise económica.....	78

5.4.2.4. Simulação do sistema ativo para arrefecimento/aquecimento.....	79
5.4.2.4.1. Análise económica .....	80
5.4.2.5. Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria .....	80
5.4.2.5.1. Análise económica .....	82
5.4.2.6. Discussão e considerações do caso de estudo 2 .....	85
5.5. Análise e comparação dos dois casos de estudo.....	86
5.5.1. Pré- implementação dos sistemas ativos de climatização .....	86
5.5.2. Pós- implementação dos sistemas ativos de climatização .....	87
5.6. Análise SWOT .....	91
6. CONCLUSÕES FINAIS .....	93
Referências Bibliográficas .....	95
ANEXOS.....	103



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Consumo da Energia Final Mundial (Mtep), por setor, no ano 2012. [11].....	2
Figura 2 Consumo da Energia final na Europa, por setor, no ano 2015.[14].....	2
Figura 3 Consumo da Energia final em Portugal, por setor, no ano 2015. [13].....	3
Figura 4 Percentagem do consumo da Energia Primária do ano 2016. Fonte: [59].....	9
Figura 5 Percentagem do consumo da Energia Final do ano 2016. Fonte: [59] .....	10
Figura 6 Gráfico da Evolução dos Consumos de Energia Primária e Final (KTEP) de 2015 para 2016. Fonte:[59].....	10
Figura 7 Evolução da dependência energética de Portugal entre 2010 e 2016: [59].....	11
Figura 8 Distribuição no consumo de energia no alojamento por tipo de utilização, em 2010 Fonte:[63] .....	12
Figura 9 Distribuição do consumo por fonte de energia, em Portugal em 2010 [63] .....	13
Figura 10 Etapas da desagregação do consumo de energia. Fonte:[60].....	14
Figura 11 Peso (%) dos Sistemas de Aquecimento nos Alojamentos. Fonte: [60] .....	15
Figura 12 Peso (%) dos Sistemas de Arrefecimento nos Alojamentos .....	15
Figura 13 Peso (%) dos Sistemas de AQS nos Alojamentos Fonte: [60].....	16
Figura 14 Evolução legislativa em Portugal relativa à eficiência energética de edifícios. Fonte: [66].	16
Figura 15 Classe Energética. Fonte: [73] .....	18
Figura 16 Certificados Energéticos emitidos por classe energética, para edifícios em Portugal, no ano 2016.....	19
Figura 17 Diagrama dos Equipamentos (fixos e móveis) mais utilizados em Portugal, para climatização.....	24
Figura 18 Esquema do Aquecimento Central. Fonte:[81] Adaptado .....	25
Figura 19 Caldeira convencional a gás. Fonte:[83].....	26
Figura 20 Caldeira mural com preparação AQS e aquecimento: instantaneamente e por acumulação. Fonte:[77].....	27
Figura 21 Caldeira convencional vs. Caldeira condensação. Fonte:[87] .....	27
Figura 22 Sistema split e multi-split. Fonte:[93].....	29
Figura 23 Sistema combinado – Equipamentos de climatização e AQS Adaptado fonte:[93] .....	29
Figura 24 Gráfico de perdas Tecnologia Inverter vs Tecnologia Tradicional. Fonte: [94].....	30
Figura 25 Sistema Solar Térmico. Fonte:[101].....	32
Figura 26 Sistema Termossifão e Circulação forçada. Fonte: [96] .....	33
Figura 27 Sistema solar térmico com caldeira com depósito como sistema de apoio Fonte:[104].....	34
Figura 28 Proteções exteriores: Fixa – Pala Fonte:[120] ; Amovível – réguas metálicas Fonte:[121] .	40
Figura 29 Proteção interior: cortinas cor clara. Fonte:[122] .....	40
Figura 30 Situações da Parede de Trombe. Adaptado fonte:[124].....	41

Figura 31 Representação da habitação Passivhaus: Fonte:[110] .....	43
Figura 32 Ventilação natural: aberturas na envolvente e condutas de extração cozinha e casa de banho. Fonte:[132] .....	46
Figura 33 Ventilação mecânica com recuperação de calor. Fonte: [133].....	48
Figura 34 Sistema de ventilação geotérmica. Fonte: [136] .....	49
Figura 35 Bomba de calor geotérmica. Adaptado fonte:[138], [139].....	50
Figura 36 Esquema de ventilação geotérmica com recuperador de calor. Adaptado Fonte:[122,123] .	50
Figura 37 Evolução das necessidades de energia úteis após introdução das medidas passivas .....	61
Figura 38 Soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação.....	62
Figura 39 Energia produzida a partir de fontes renováveis para preparação de AQS [kWh/ano] .....	64
Figura 40 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m <sup>2</sup> ano) das soluções de aquecimento e classe energética .....	65
Figura 41 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m <sup>2</sup> ano) das medidas de melhoria – Contexto 1 .....	67
Figura 42 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m <sup>2</sup> ano) das medidas de melhoria - Contexto 2.....	69
Figura 43 Ranking de eficiência energética e análise económica das medidas de melhoria (1-10).....	74
Figura 44 Necessidades nominais anuais globais de energia (kWh/m <sup>2</sup> ano) e classe energética após introdução das soluções construtivas.....	76
Figura 45 Solução 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação .....	77
Figura 46 Energia produzida a partir de fontes renováveis para preparação de AQS [kWh/ano] .....	78
Figura 47 Necessidades de energia nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m <sup>2</sup> ano) e classe energética com a utilização do Multi-Split .....	79
Figura 48 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m <sup>2</sup> ano) e classe energética com a introdução de novos equipamentos.....	81
Figura 49 Ranking de eficiência energética e análise económica das medidas de melhoria (1-6).....	85
Figura 50 Dados resultantes para obtenção da eficiência energética dos dois edifícios.....	87
Figura 51 Custos anuais com os equipamentos escolhidos para o edifício reabilitado (€/ano).....	89
Figura 52 Custos anuais com os equipamentos escolhidos para o edifício novo (€/ano).....	90

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1 Evolução dos consumos de Energia Primária e Final de 2015 para 2016. Fonte:[59] .....	11
Tabela 2 Primeiro PNAEE para o período 2008-2015. Fonte:[61] .....	12
Tabela 3 Custos de investimento e custos de exploração de Caldeiras convencionais e de condensação .....	28
Tabela 4 Sistemas de Climatização Passiva .....	35
Tabela 5 Isolamentos recomendados para cumprir requisitos segundo o REH .....	38
Tabela 6 Soluções de Envidraçados: correntes e otimizados .....	39
Tabela 7 Percentagem da área de infiltrações do edifício como um todo. Fonte: [126] .....	42
Tabela 8 Lista das vantagens e inconvenientes das soluções passivas Fonte:[103,109] .....	44
Tabela 9 Área dos elementos construtivos e comprimento total das pontes térmicas lineares exteriores .....	51
Tabela 10 Dados climáticos de Leiria .....	52
Tabela 11 Descrição das soluções dos elementos construtivos e respetivo coeficiente de transmissão térmica .....	53
Tabela 12 Descrição das soluções dos vãos envidraçados e respetivo coeficiente de transmissão térmica, fator solar do vidro e fator solar global .....	53
Tabela 13 Necessidades iniciais de energia úteis de aquecimento e arrefecimento do edifício .....	53
Tabela 14 Descrição das medidas de melhoria aplicadas às soluções construtivas e vãos envidraçados .....	54
Tabela 15 Dados climáticos de Évora .....	57
Tabela 16 Descrição sumária das soluções construtivas e respetivos coeficientes de transmissão térmica (U) .....	58
Tabela 17 Custos e Fatores de Conversão das Fontes de Energia .....	60
Tabela 18 Análise Económica das Soluções Passivas .....	61
Tabela 19 Análise Económica das Soluções 1 e 2 para Cumprimento da Ventilação .....	63
Tabela 20 Análise Económica dos Sistemas para produção de AQS .....	64
Tabela 21 Custo anual com sistema de apoio .....	64
Tabela 22 Soluções de sistemas ativos para aquecimento .....	65
Tabela 23 Análise Económica das Soluções de Aquecimento .....	66
Tabela 24 Combinação de soluções - Contexto 1 - sem pré-instalação de aquecimento central .....	66
Tabela 25 Combinação de soluções - Contexto 2 - com pré-instalação de aquecimento central .....	66
Tabela 26 Análise Económica das Medidas de Melhoria - Contexto 1 .....	70
Tabela 27 Análise Económica das medidas de melhoria - Contexto 2 .....	70
Tabela 28 Análise económica das soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação .....	77
Tabela 29 Análise económica dos sistemas para produção AQS .....	79



Tabela 30 Custo anual com o sistema de apoio .....	79
Tabela 31 Análise económica do sistema multi-split .....	80
Tabela 32 Combinações das soluções de melhoria.....	80
Tabela 33 Análise económica das medidas de melhoria .....	82
Tabela 34 Dados resultantes da introdução das soluções construtivas (edifício novo) e melhorias passivas (reabilitado), caudal mínimo de ventilação e energia produzida para produção AQS (Eren AQS).....	86
Tabela 35 Coeficientes de desempenho dos equipamentos simulados para os dois edifícios .....	90
Tabela 36 Análise SWOT da caldeira a gás natural e da salamandra a biomassa .....	91
Tabela 37 Análise SWOT do multi-split e bomba de calor água/água.....	92

## LISTA DE SIGLAS

ADENE – Agência para a Energia  
AGE – Avaliação Global de Energia  
AQS – Águas quentes sanitárias  
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers  
COP - *Coefficient of Performance* – Coeficiente de desempenho  
Ap – Área interior útil do pavimento ( $m^2$ )  
DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia  
EFII – Programa EcoFamílias  
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive  
EREN – Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)  
EREN AQS – Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção AQS (kWh/ano)  
ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems  
EER - *Energy Efficiency Ratio* - Índice de Eficiência de Energia  
EL1 - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente  
EL2 - Elementos em contacto com o solo  
EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento)  
FER – Fontes de energias renováveis  
FRont – Fair Renewable Heating and Cooling Options and Trade  
Fg – Fração envidraçada  
 $F_{mv}$  – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados  
 $F_{w,v}$  – Fator de seletividade angular que varia mediante a orientação e tipo dos envidraçados  
GEE – Gases com Efeito de Estufa  
gT – Fator solar global com todos os dispositivos ativados  
 $g_{L,vi}$  – Fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão  
 $g_{L,T}$  – Fator solar do vão com todos os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados  
 $g_{T,vc}$  – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície  
ICESD – Inquérito ao consumo de Energia no Setor Doméstico  
INE – Instituto Nacional de Estatística  
ISO – Organização Internacional de Normalização  
ITECons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção  
 $I_t$  – Inércia térmica ( $kg/m^2$ )  
 $M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento i ( $kg/m^2$ )

$m_i$  - Massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior  
 $N_{ic}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>ano)  
 $N_{tc}$  – Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>ano)  
 $N_{vc}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>ano)  
PMV – Predicted Mean Vote  
PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética  
PNAER – Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis  
PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied  
 $Q_a$  – Energia útil para preparação de AQS (kWh/ano)  
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços  
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação  
 $R_{ph}^{-1}$  – Renovação horária  
 $R_t$  – Resistência Térmica  
 $r$  – Fator redução da massa superficial útil  
 $R_{si}$  – Resistência térmica interior (m<sup>2</sup>C°/W)  
 $R_{se}$  – Resistência térmica exterior (m<sup>2</sup>C°/W)  
 $R$  – Resistência térmica com caixa de ar associada  
SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios  
SVG – Sistema de Ventilação Geotérmica  
 $U$  – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m<sup>2</sup>C°)  
 $S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$  (m<sup>2</sup>)  
 $U_w$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado (W/m<sup>2</sup>C°)  
 $U_{wdn}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite (W/m<sup>2</sup>C°)  
VMRC – Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor  
 $W_{vm}$  – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Perspetiva Geral**

A população mundial aumentou mais de duas vezes desde 1950, que originou carências habitacionais que obrigaram a uma aceleração da construção de novos alojamentos [1]. Paralelamente a este acontecimento, a economia global quintuplicou [2]. Esta evolução foi ainda acompanhada pela melhoria das condições de vida das populações, especialmente dos países desenvolvidos [3].

Com o aumento da população, bem como da melhoria significativa da economia, foi possível que as habitações passassem a ter melhores condições de conforto, dada a possibilidade de aquisição de equipamentos de climatização do ambiente interior [4]. A adoção dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação, resulta num melhor clima interior para os ocupantes, tornando o ambiente mais confortável, e diminuindo os problemas de saúde associados à qualidade do ar [5].

A evolução tecnológica depende de uma multiplicidade de fatores e varia de setor para setor. O setor da construção e dos ambientes construídos representa um caso particular, em que as alterações tecnológicas nem sempre se repercutem na redução dos impactes ambientais, isto é, os consumos energéticos ao nível dos equipamentos utilizados que têm como fim a climatização dos edifícios, tem vindo a aumentar sucessivamente [6].

A utilização de certos sistemas técnicos é responsável pela libertação de gases com efeito de estufa para a atmosfera, aumentando as emissões de dióxido de carbono e consequentemente, o efeito de estufa é intensificado, contribuindo para as alterações climáticas [7,8].

O setor dos edifícios é um dos principais responsáveis pelos grandes consumos de energia a nível mundial. Segundo a Avaliação Global de Energia (GEA) [9], a procura energética dos edifícios, dos quais cerca de três quartos é utilizada para fins térmicos, representa 34% da procura global de energia final [10]. De acordo com o mesmo relatório, a procura da energia para fins de aquecimento e arrefecimento pode sofrer uma redução de cerca de 46% até 2050, se forem adotadas medidas e sistemas alternativos com melhoria na eficiência energética [10]. A Figura 1 representa o consumo da energia final a nível mundial, por setor, no ano 2012.

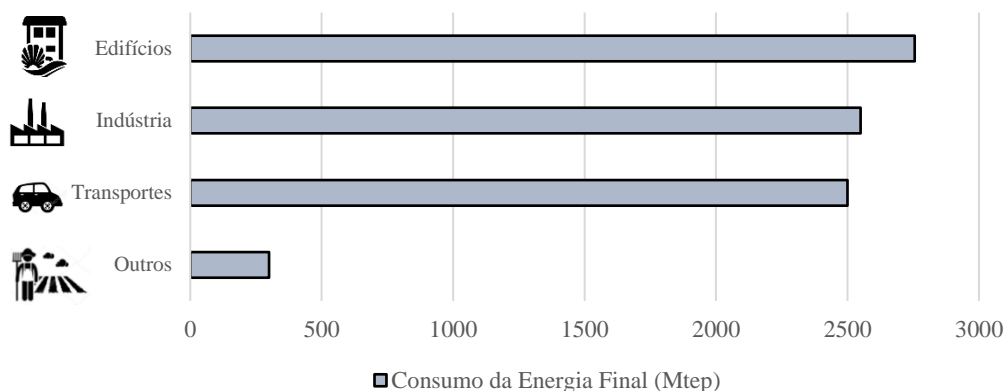


Figura 1 Consumo da Energia Final Mundial (Mtep), por setor, no ano 2012<sup>1</sup>. [11]

Na Europa, o consumo energético dos edifícios corresponde a cerca de 40% dos consumos totais de energia primária, sendo que o aquecimento e arrefecimento constituem a maior fonte de procura de energia [10,11]. A Figura 2, apresenta o consumo da energia final a nível Europeu, no ano 2015.

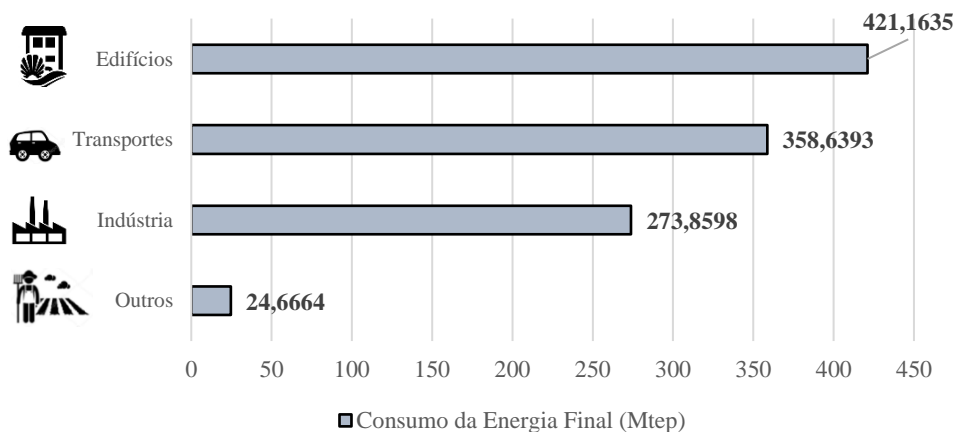


Figura 2 Consumo da Energia final na Europa, por setor, no ano 2015.[14]

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, [15], os setores que contribuíram para um maior consumo total de energia final em Portugal, em 2013 foram os transportes (36%), a indústria (31%) e os edifícios (30%). Destes últimos, cerca de 16,6% destinou-se a edifícios de habitação e 11,4% a edifícios de serviços [10,12]. Verificando os valores do ano 2015, segundo a Pordata [14], percebe-se que não existiram diferenças consideráveis. No entanto, o consumo de energia final dos edifícios (28%) ultrapassou os valores da indústria (27%), embora, a diferença seja pouco notória. No âmbito nacional, existe uma maior necessidade de aquecer os edifícios do que arrefecer [12,16]. A Figura 3 apresenta o consumo da energia final, por setor, do ano 2015, em Portugal.

<sup>1</sup> Não são apresentados valores exatos, devido à indisponibilidade dos mesmos na pesquisa realizada.

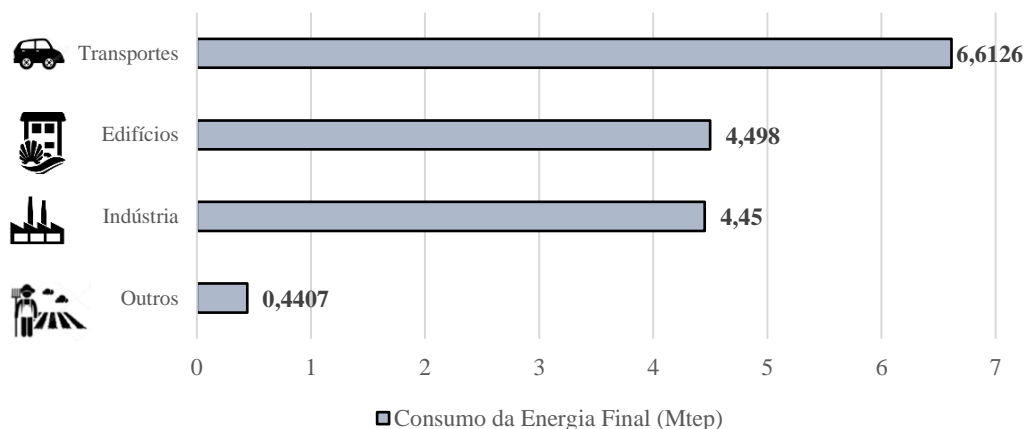


Figura 3 Consumo da Energia final em Portugal, por setor, no ano 2015. [13]

O conforto, proporcionado pelos edifícios aos seus ocupantes, assume uma crescente importância na fase do projeto dos mesmos, enquanto fator condicionante da saúde e produtividade de quem os utiliza [2,15]. Generalizando, a maior parte do tempo de um indivíduo é passado no interior dos edifícios e como tal, é importante que as edificações apresentem níveis de conforto aceitáveis de forma a garantir o máximo de comodidade possível aos seus ocupantes.

O conforto é um parâmetro bastante complexo, na medida em que depende de vários fatores, tais como, formas, cores, luz e temperatura, assim como das diversas sensibilidades e diferentes tipos de reação dos indivíduos [18].

Existem vários tipos de conforto (térmico, acústico, visual, qualidade do ar interior, etc.) que propiciam a qualidade do ambiente interior, bem como um conjunto de fatores que conduzem a situações de conforto, que podem estar ou não relacionadas entre si. Por exemplo, a área dos envidraçados influencia os diferentes tipos de conforto referidos anteriormente, se bem que alguns podem não ter qualquer tipo de relação. Como é o caso da cor dos envidraçados. Esta é importante para a qualidade visual, mas em nada interfere na qualidade acústica ou mesmo na qualidade do ar interior [18].

V. Martins, [19] estudou a questão da humanização no ambiente físico hospitalar, enfatizando o conforto ambiental nos aspetos da iluminação, da utilização da cor e também do conforto higrotérmico, acreditando tratar-se de um parâmetro essencial e como tal, um forte aliado nos processos de cura dos pacientes.

Segundo O. Corbella [20], um indivíduo está confortável num ambiente quando existe neutralidade entre eles. A arquitetura de um edifício hospitalar pode potencializar o bem-estar físico dos pacientes, quando ela desenvolve condições de convívio mais humanas [19]. No que respeita ao conforto visual, a iluminação é um fator essencial, uma vez que influencia o utilizador tanto na vertente fisiológica como psicológica. Deve assim, ser alvo de um estudo prévio [19]. Quanto ao conforto higrotérmico –

capacidade de adaptação de um indivíduo às condições climáticas locais-, a cor tem também bastante influência na sensação térmica, tornando essencial a reflexão e estudo das cores utilizadas [19]. Existem estratégias de projeto estabelecidas que procuram melhorar o conforto, nomeadamente: controlar o acúmulo de calor; procurar dissipar a energia térmica do interior do edifício; promover o movimento do ar, retirando a humidade que se encontra em excesso; privilegiar o uso de iluminação natural e ainda controlar as fontes de ruído [20].

Contudo, apesar do conforto englobar diferentes parâmetros, na presente dissertação, foi aprofundado o conforto térmico, por estar diretamente associado aos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação no interior dos edifícios.

O conforto térmico é reconhecido como um conceito não exato e que não implica uma temperatura exata. Este está dependente de vários fatores quantificáveis – temperatura do ar, velocidade do ar, humidade, etc. – e de fatores não quantificáveis – estado mental, hábitos, educação, etc. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante consoante o clima particular ao ambiente local [21-23].

Tendo em conta os conceitos e valores referidos anteriormente, é possível perceber que, associado à garantia de conforto térmico, existe um aumento do consumo energético. Como tal, o assunto tratado na presente dissertação, deve ser alvo de pesquisa e avaliação, no sentido de cessar ou diminuir este consumo.

## **1.2. Motivação, Objetivos e Contribuição da dissertação**

O aumento crescente do consumo da energia que se verifica aquando da utilização de sistemas e equipamentos de climatização deve-se muitas vezes à falta de informação e conhecimento dos envolvidos e principais interessados [10].

Segundo um estudo desenvolvido por M. Hecher, S. Hatzl, C. Knoeri e A. Posch [10], com o intuito de perceber e avaliar a conduta de escolha dos proprietários de edifícios no momento da aquisição de um sistema de climatização, verificou-se que os proprietários que optam por sistemas alternativos e com maior eficiência energética, sustentam a sua escolha com base em informação especializada, e ainda, que estes procuram de forma mais ativa, juntos dos especialistas dessa área, a melhor solução para o seu caso. Contrariamente, aqueles que preferem adotar sistemas convencionais e com um maior consumo de energia, apoiam-se simplesmente em informações gerais e na opinião dos instaladores.

Com isto, as fontes de informação especializada tornam-se bastante importantes no momento de tomada de decisão da adoção de um sistema de climatização e estas devem ser atualizadas constantemente, acompanhando a evolução dos sistemas.

O objetivo primordial da presente dissertação, foi a análise e avaliação dos diferentes sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação e a seleção dos sistemas com maior eficiência energética que devem estar de acordo com os regulamentos estipulados pelo REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação [24].

Foram abordados os tipos de soluções que são atualmente utilizados para os edifícios residenciais e posteriormente avaliados através da análise SWOT (*S-Strengths*-forças onde se referem aspetos positivos e vantagens (habilidades tecnológicas, por exemplo), *W-Weaknesses*-fraquezas onde se apresentam as desvantagens das soluções e aspetos menos positivos (instalações e manutenções com elevado custo, por exemplo), *O-Opportunities*-oportunidades onde se referem aspetos das soluções que apresentam potencial de melhoria (novos produtos potenciais, queda de barreiras comerciais) e *T-Threats*-ameaças que corresponde por exemplo, a nova concorrência, crescimento lento do mercado, novas regulamentações.

De forma a esclarecer da melhor forma possível o objetivo principal, o presente trabalho contou com os seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar e caracterizar os sistemas existentes:
  - a) Sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo e ativo;
  - b) Sistemas de ventilação natural, mecânica, híbrida e recuperação de calor;
- ii. Realizar uma análise SWOT -, de forma a identificar aspetos positivos e negativos de cada solução estudada e efetuar a devida comparação com os restantes sistemas;
- iii. Analisar e avaliar as práticas atuais de dimensionamento e projeto de aquecimento, arrefecimento e ventilação – *Casos de Estudo*<sup>2</sup>– Aplicação do REH;
- iv. Propor medidas de melhoria, comissionamento e controlo dos sistemas.

Pretendeu-se que deste trabalho resultasse um conjunto de conteúdos válidos e esclarecedores, para um vasto público alvo (proprietários, engenheiros, arquitetos, etc.) com vista a auxiliar o processo de adoção de um sistema técnico para melhoria do conforto térmico dos edifícios. O desenvolvimento da presente dissertação, também se destinou a promover medidas e sistemas que efetivamente utilizem a energia de forma eficiente, para que, no futuro, a procura energética, no setor dos edifícios, possa assim decrescer.

A presente dissertação contribui assim, para difundir um conjunto de informações válido e atualizado, de acordo com o regulamento em vigor, bem como mencionar medidas e sistemas que contribuem para a diminuição da procura energética no âmbito do setor dos edifícios.

---

<sup>2</sup> Como objeto de estudo da presente dissertação, será recuperado o projeto desenvolvido na Unidade Curricular de Comportamento Termo-Energético dos Edifícios, realizado ao longo do semestre, no Perfil de Construções.



### **1.3. Estrutura geral da dissertação e metodologia aplicada**

A presente dissertação está constituída por seis capítulos. No primeiro e presente capítulo descreve-se a introdução, em que inicialmente foi feita uma perspetiva geral sobre o tema, de seguida surgiram os objetivos, as motivações e a contribuição da escrita da dissertação e por último foi apresentada a organização da mesma e metodologia utilizada.

No presente trabalho, foram exploradas duas vertentes: descritiva e explicativa. As duas vertentes complementam-se, na medida em que, a primeira relatou os factos atualmente existentes e a segunda fez uma extrapolação do que foi dito na vertente anterior, interpretando e identificando teorias de forma a relacionar hipóteses.

Sendo assim, a vertente descritiva foi abordada entre o Capítulo II e o Capítulo IV. O Capítulo II apresenta a caracterização energética a nível Nacional, bem como, o estudo da evolução da legislação de certificação energética em Portugal, referindo processo evolutivo que deu origem ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Relativamente aos Capítulos III e IV, pretendia-se a descrição dos sistemas técnicos – de arrefecimento, aquecimento e ventilação – que são atualmente utilizados nos edifícios. De forma a sistematizar toda a informação e tornar mais apelativa de ser compreendida, a análise dos equipamentos de climatização foi dividida em dois grupos: soluções passivas e soluções ativas.

Com a informação filtrada anteriormente, bem como as análises SWOT realizadas, chegou-se ao momento da aplicação dos conhecimentos e de retirar conclusões. Para isso, utilizou-se a abordagem explicativa nos restantes capítulos. O capítulo V diz assim respeito ao objeto de estudo da dissertação: o caso de estudo. Pretendia-se a recuperação do Projeto de uma habitação unifamiliar abordado no âmbito da unidade curricular de Comportamento Termo-Energético de Edifício do Perfil de Construções. Assim sendo, o caso de estudo aborda dois contextos diferentes para o mesmo edifício: a reabilitação e o projeto de um edifício novo. Como tal, para os dois edifícios avaliaram-se as soluções ao nível da envolvente do edifício, equipamentos de preparação de águas quentes sanitárias e também sistemas de climatização. No entanto, no primeiro caso, pretendia-se a aplicação das soluções e comportamento dos elementos construtivos de um edifício, cujo certificado energético apresentava uma classe de eficiência baixa. Sendo que, posteriormente, as medidas de melhoria aplicadas, tendo em conta as necessidades do edifício, são maioritariamente soluções passivas. No segundo caso, aplicaram-se soluções de elementos construtivos otimizadas e verificaram-se as necessidades de energia do edifício para proceder à introdução dos sistemas técnicos que efetivamente tenham uma boa eficiência. De forma a obter um conjunto de resultados mais vasto, no campo das necessidades nominais úteis do edifício, optou-se por considerar duas cidades diferentes. Considerou-se que o edifício a reabilitar se encontrava em Leiria e o edifício novo em Évora. O programa utilizado para o efeito é a folha de cálculo do IteCons,

que verifica o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios. Estes resultados deram origem à comparação dos sistemas e seleção dos mais eficientes.

A análise explicativa permitiu criar teorias e relações, como por exemplo, determinar qual o sistema que melhor se adequa a um tipo de edifício; que tipo de sistemas promovem uma maior eficiência energética. Ainda nesta vertente, esperou-se que fossem levantadas novas hipóteses, nomeadamente, medidas de melhoria. Também neste capítulo, é realizada a análise SWOT, tendo como base os resultados obtidos dos casos de estudo. Os sistemas analisados, são aqueles que foram selecionados para cada edifício no capítulo anterior, sendo que, para tornar a análise mais sugestiva, comparam-se dois sistemas em cada análise.

O último capítulo, destina-se às conclusões, efetuando uma análise geral dos resultados obtidos, refletindo sobre os mesmos.



## 2. SETOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL

### 2.1. O Panorama Energético

O panorama energético a nível mundial está em constante mudança, quer pela força da economia, diretamente ligada à procura de energia, quer por força das alterações climáticas, que obrigam a uma ação imediata de forma a cessar o escalar das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Portugal não é exceção, sendo que o ambiente económico que se vive tem implicações diretas no consumo de energia, que tem vindo a diminuir nos últimos anos [57].

Tipicamente os balanços de energia são realizados tendo em conta os consumos totais entre energia primária<sup>3</sup> e energia final<sup>4</sup>. A abundância destas energias na natureza, dita a sua classificação em energias renováveis (hidroelétrica, eólica, solar e biomassa) e energias não-renováveis (petróleo, carvão, gás e urânio) [58].

Pode verificar-se na Figura 4 e Figura 5 os consumos registados no ano 2016, da energia primária e final, respetivamente. Relativamente aos recursos energéticos, nota-se uma descida no consumo da energia primária, originária do carvão e petróleo, em cerca de 13% e 1,5%, respetivamente. Apesar da redução verificada, continua a destacar-se um consumo de fontes de energia fóssil, como o petróleo ou gás natural, para energia primária em cerca de 76% [59]. Este peso maioritário no consumo, provoca uma elevada dependência energética, devido à inexistência de produção nacional deste tipo de recursos [60]. A Figura 5 mostra que as energias renováveis, nomeadamente a biomassa, ainda são pouco utilizadas como energia principal, quando comparadas com o petróleo, por exemplo.

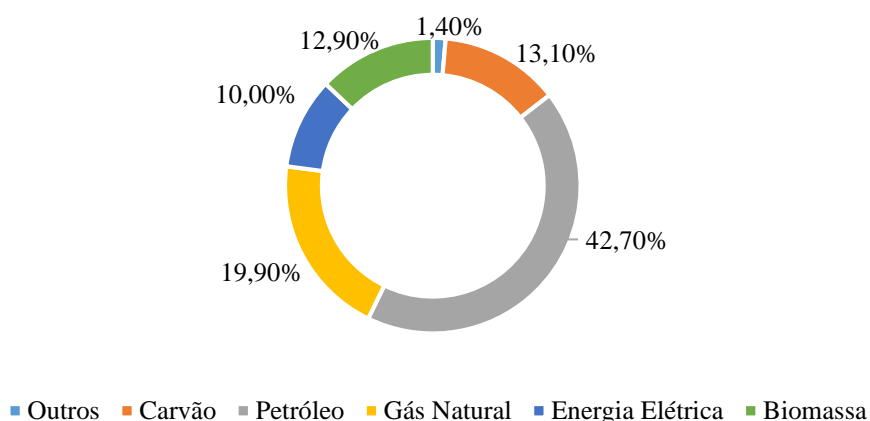


Figura 4 Percentagem do consumo da Energia Primária do ano 2016. Fonte: [59]

<sup>3</sup> A Energia primária é aquela que se encontra diretamente na natureza e não foi submetida a nenhum processo de transformação, tais como, sol, vento, água de barragens e madeira.

<sup>4</sup> A Energia final trata-se da energia que consumimos diariamente nas casas, indústrias e transportes – energia luminosa, mecânica e térmica-, que se obtém através das energias principais, tais como derivados de petróleo, gás natural, e energia elétrica.

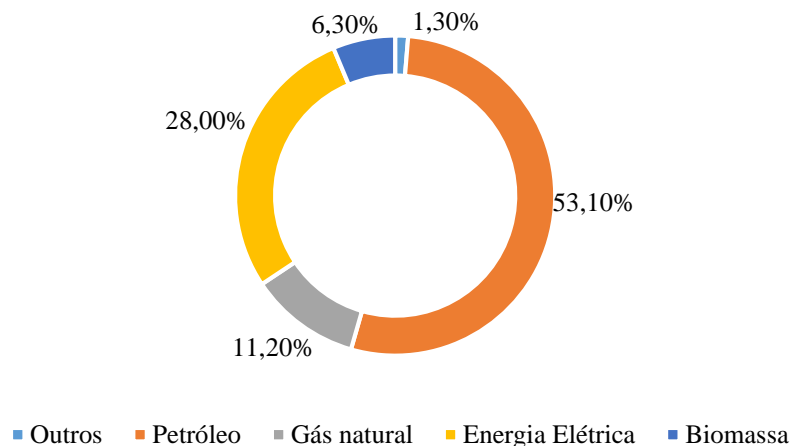


Figura 5 Percentagem do consumo da Energia Final do ano 2016. Fonte: [59]

A Figura 6 apresenta os valores dos consumos de energia primária e final, registados no ano 2015 e 2016. Observa-se que existiu um decréscimo da energia primária de 1,2% e o aumento de 1% na energia final (Tabela 1). Relativamente ao decréscimo verificado ao nível da energia primária, deve-se sobretudo ao facto de ter existido uma redução do consumo de carvão, para produção de energia elétrica, de cerca de 13% nas centrais termoelétricas relativamente ao ano anterior. Para além disso, o consumo de petróleo e derivados também apresentou uma descida de 1,5%. Quanto ao aumento de 1% do consumo da energia final, consta que se deve à subida de 1,3% e 1,8%, no consumo dos derivados de petróleo e da energia elétrica, respetivamente. Ainda assim, verificou-se uma redução de 0,9% no consumo de gás natural.

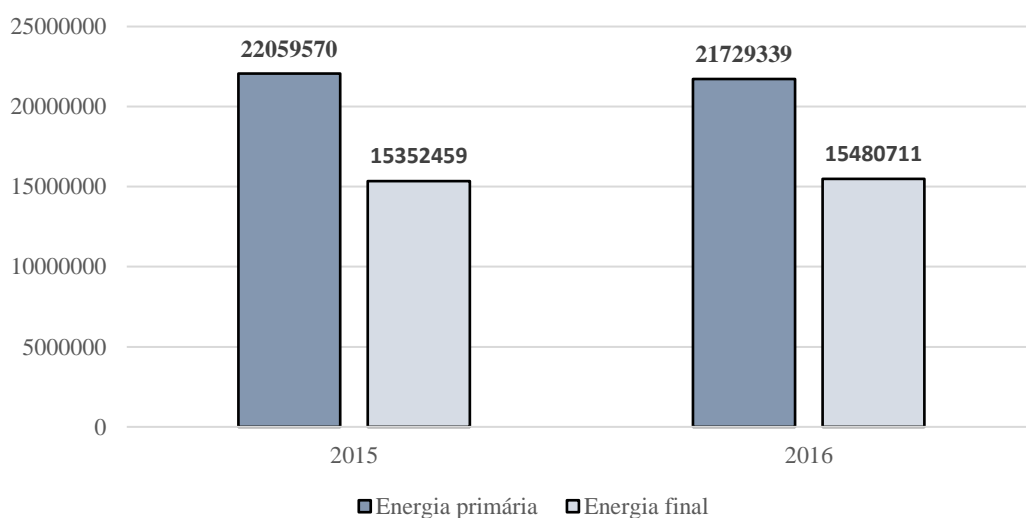


Figura 6 Gráfico da Evolução dos Consumos de Energia Primária e Final (KTEP) de 2015 para 2016. Fonte:[59]

Tabela 1 Evolução dos consumos de Energia Primária e Final de 2015 para 2016. Fonte:[59]

	2015	2016
<b>Energia Primária</b>	5,4%	-1,2%
<b>Energia Final</b>	1,2%	1,0%

Ao longo dos últimos seis anos, a dependência energética de Portugal tem vindo a reduzir. Analisando o gráfico da Figura 7 percebe-se que do ano 2015 para 2016 ocorreu uma descida da dependência energética. Ainda assim, Portugal apresentava uma dependência energética de 74,8%, ou seja, mais de metade da energia consumida é importada [60]. A razão pela qual a dependência recuou, deve-se sobretudo à redução do saldo importador – quantidades que fisicamente entraram no território nacional – que é fortemente influenciado pela menor utilização de hulha - carvão – nas centrais termoelétricas e sucessivo aumento da produção hidroelétrica [59]. Este decréscimo é justificado pelo impacto das medidas de eficiência energética adotadas e no investimento em fontes de energia renováveis [60].

O Governo nacional tem vindo a implementar um modelo energético baseado na racionalidade económica e na sustentabilidade, através da adoção de medidas de eficiência energética e da utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis. Como tal, um dos grandes objetivos é assegurar a melhoria substancial na eficiência energética do País, através da execução do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e do Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis (PNAER) [61].

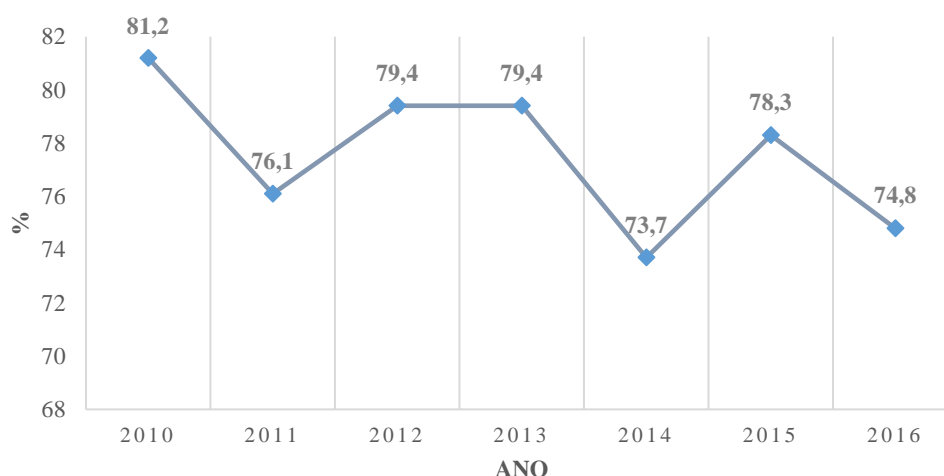


Figura 7 Evolução da dependência energética de Portugal entre 2010 e 2016: [59]

Neste contexto foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n°80/2008, de 20 de maio, o primeiro PNAEE para o período de 2008-2015, contemplando quatro áreas específicas de atuação –

Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado [61]. A Tabela 2 apresenta os programas de eficiência energética para cada área. Para a presente dissertação apenas são brevemente descritas as medidas e políticas dos programas na área Residencial e Serviços, visto que o setor em estudo da presente dissertação é o Residencial. A tabela com a descrição das medidas encontra-se no Anexo A.

Tabela 2 Primeiro PNAEE para o período 2008-2015. Fonte:[61]

Áreas				
Programas	Transportes	Residencial e Serviços	Indústria	Estado
	Eco Carro	Renove Casa & Escritório	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	Eficiência Energética no Estado
	Mobilidade Urbana	Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios		
	Sistemas de Eficiência Energética nos Transportes	Solar Térmico		

Na área do setor residencial e serviços, no PNAEE de 2008, foram contabilizadas reduções de consumo energético de cerca de 267 008 tep, entre 2008 e 2010 [61], o que prova que a execução do Plano apresentou uma evolução no que toca à redução do consumo e melhoria da eficiência.

## 2.2. Utilização da Energia nos Edifícios

Ao nível dos edifícios de habitação, o consumo de energia divide-se essencialmente por seis grupos de tipo de utilização: cozinha, arrefecimento do ambiente, aquecimento do ambiente, iluminação, preparação de águas quentes sanitárias (AQS), e equipamentos elétricos [62].

Em 2010, segundo dados da DGEG, foi na cozinha que se registou a maior parcela de consumo de energia, cerca de 39,1%, seguindo-se a preparação de AQS e aquecimento ambiente, com 23,5% e 21,5%, respetivamente (Figura 8) [56,57].

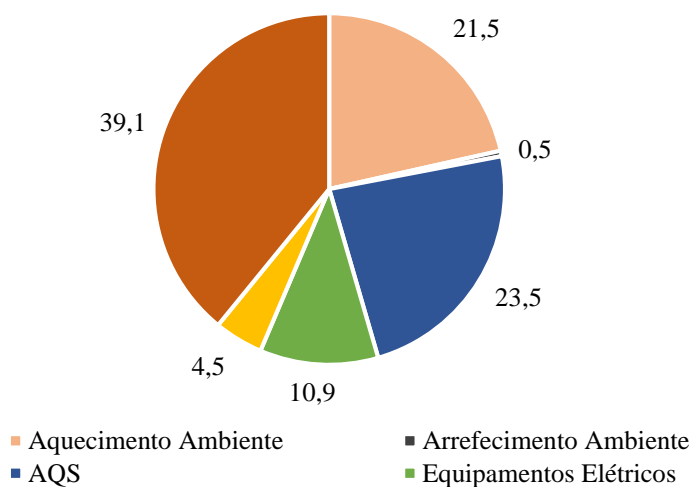


Figura 8 Distribuição no consumo de energia no alojamento por tipo de utilização, em 2010 Fonte:[63]

É fundamental perceber também qual a fonte de energia utilizada nos consumos mencionados. A Figura 9 demonstra distribuição dos consumos por fonte de energia. É possível verificar que a eletricidade está presente nas três grandes fatias de utilização, e que, apesar de não estar saliente graficamente, o Inquérito ao Consumo de Energia realizado pela DGEG, comprova, ser a única fonte de energia comum em todos os tipos de uso. A cozinha e os equipamentos elétricos são os principais responsáveis pelo consumo de eletricidade, representando cerca de 73% do total de consumo de eletricidade numa habitação. De notar ainda que o gás natural, o GPL canalizado e o GPL em garrafa (Butano e Propano) foram essencialmente utilizados para preparação de AQS e na cozinha. Para além disto, as fontes de energia mais utilizadas no aquecimento ambiente, AQS e cozinha, foram a lenha, o GPL (Garrafa Butano) e a eletricidade, respetivamente [63].

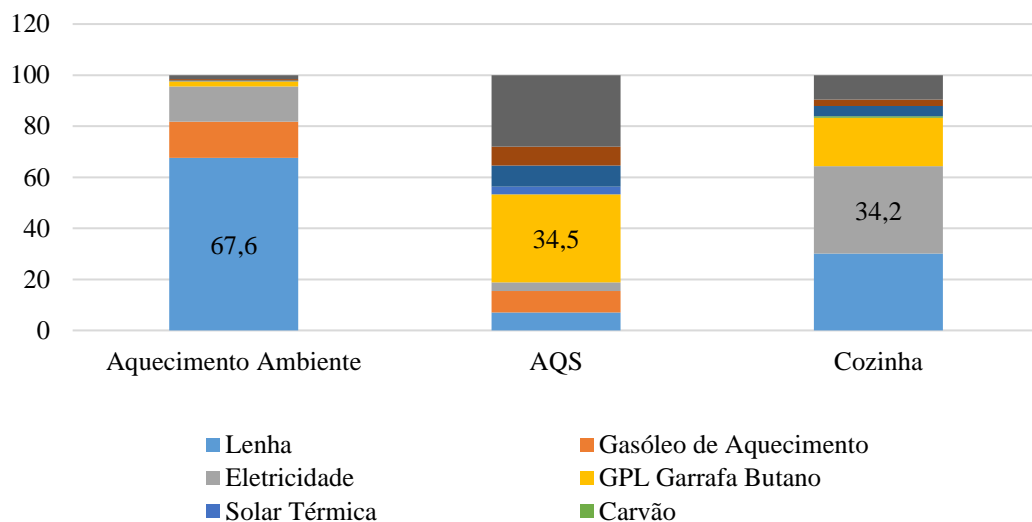


Figura 9 Distribuição do consumo por fonte de energia, em Portugal em 2010 [63]

### 2.3. Equipamentos Energéticos mais utilizados

Segundo F. Cardoso, em 2012, 28% da população portuguesa não teve capacidade financeira para suportar despesas com uma climatização adequada. Como tal, na tentativa de diminuição de custos, muitos consumidores optam pela diminuição dos tempos de utilização dos sistemas de aquecimento, que conduz à perda de conforto. Por outro lado, ainda existem consumidores que recorrem aos sistemas de aquecimento mais eficientes e/ou consumíveis de fontes energéticas mais económicas [61,62].

S. Fonseca [60] caracterizou detalhadamente o consumo de energia no setor residencial em Portugal, recorrendo ao cruzamento dos dados de diversas fontes de informação. Como tal, seguiu o processo de desagregação dos consumos de energia, como se apresenta na Figura 10. Este estudo torna-se bastante plausível, uma vez que, concerne diferentes estudos acerca dos equipamentos de climatização e AQS,



analisando e trabalhando os resultados com base em diferentes metodologias, para chegar a um resultado conciso e mais próximo da realidade do panorama em Portugal.

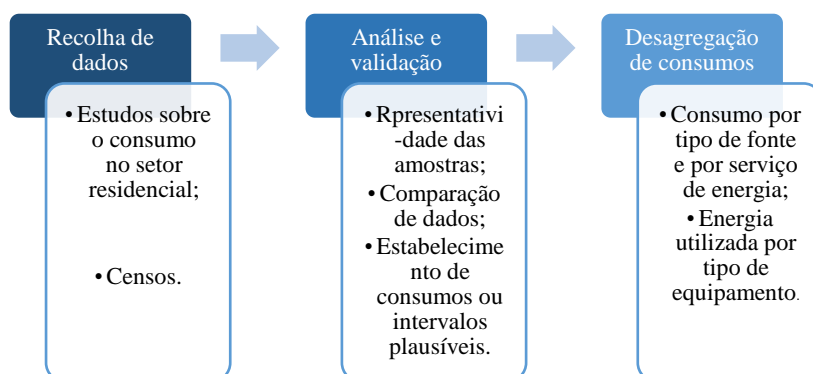


Figura 10 Etapas da desagregação do consumo de energia. Fonte:[60]

Os estudos sobre o consumo no setor residencial intervenientes na determinação do número de equipamentos utilizados foram os censos<sup>5</sup>, o ICESD<sup>6</sup>, a EFII<sup>7</sup> e FRONt<sup>8</sup>. Segue-se os resultados obtidos através da desagregação de consumos, bem como a eleição do equipamento mais utilizado em cada categoria – aquecimento, AQS e arrefecimento-. No entanto, a fonte utilizada não apresenta os valores exatos de aquecimento ambiente e AQS, pelo que, para o efeito, os gráficos que se seguem apresentam uma aproximação ao valor exato.

### 2.3.1. Aquecimento ambiente

De forma a seleccionar os dados relativos ao tipo de equipamentos utilizados para aquecimento que melhor representam a média nacional, este estudo, verificou a gama de valores que mais se aproximava do último relatório de Censos, publicado pelo INE<sup>9</sup>. Pela Figura 11 é possível verificar que o estudo que mais se aproxima dos Censos, é o ICESD. Pode-se então verificar que o equipamento mais utilizado para aquecimento do ambiente no panorama nacional, é o aquecimento elétrico independente. Exemplos deste tipo de equipamento são o radiador, o convetor, o termo-convetor, o termoventilador e radiador cerâmico. Os que de seguida apresentam maior destaque são a lareia aberta e a caldeira para aquecimento central.

<sup>5</sup> Estudo estatístico o ano 2011.

<sup>6</sup> ICESD: Inquérito ao consumo de Energia no Setor Doméstico 2009-2010.

<sup>7</sup> EFII: Programa *EcoFamílias* 2009-2011: avaliar a capacidade real das famílias em reduzir o consumo energético das suas casas.

<sup>8</sup> FRONt: Fair Renewable Heating and Cooling Options and Trade, 2015: desenvolver estratégias de implementação de sistemas de energia renovável.

<sup>9</sup> INE: Instituto Nacional de Estatística

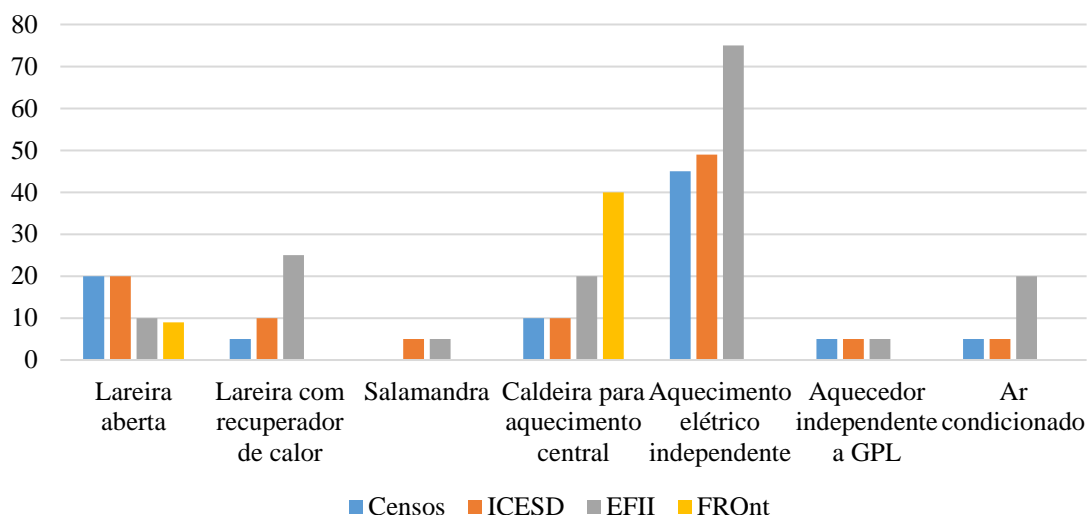


Figura 11 Peso (%) dos Sistemas de Aquecimento nos Alojamentos. Fonte: [60]

### 2.3.2. Arrefecimento

Relativamente ao arrefecimento, o estudo optou por utilizar os dados provenientes do ICESD, [63], uma vez que verificou que a gama de valores obtida através dele, era concordante com a registada pelas outras fontes de informação. A Figura 12 mostra assim a distribuição dos equipamentos de arrefecimento pelos alojamentos. Verifica-se que o equipamento mais frequentemente utilizado é o ventilador, seguido da bomba de calor e por último, o aparelho individual de ar condicionado.

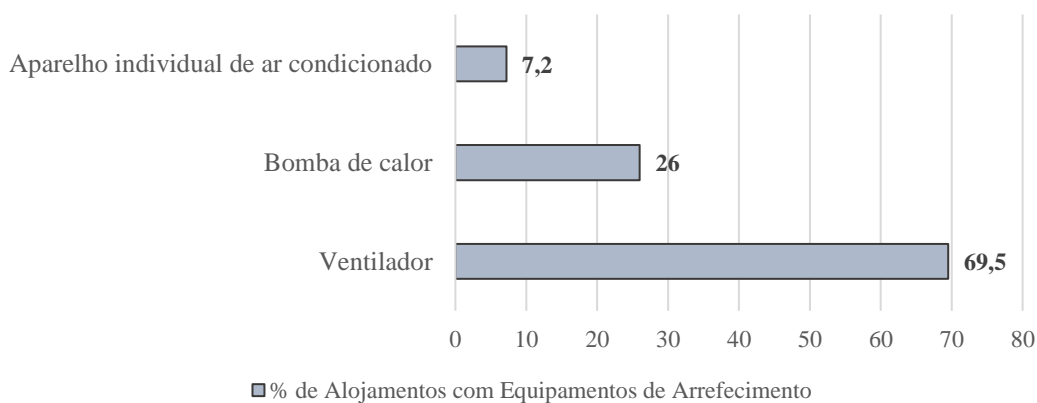


Figura 12 Peso (%) dos Sistemas de Arrefecimento nos Alojamentos

### 2.3.3. Águas quentes sanitárias

Quanto aos sistemas de águas quentes sanitárias, os estudos intervenientes para a determinação do equipamento mais utilizado nos alojamentos foram o ICESD, o EFII e FRont. Os três estudos, apesar das discrepâncias existentes, revelam que o equipamento mais utilizado para o efeito são os esquentadores, como apresenta a Figura 13. O peso do sistema solar térmico foi obtido por outro estudo,

por essa razão se depara com esta discrepância face aos outros equipamentos. No entanto, a sua utilização requer sempre um dos outros equipamentos, como aparelho de apoio ao sistema.

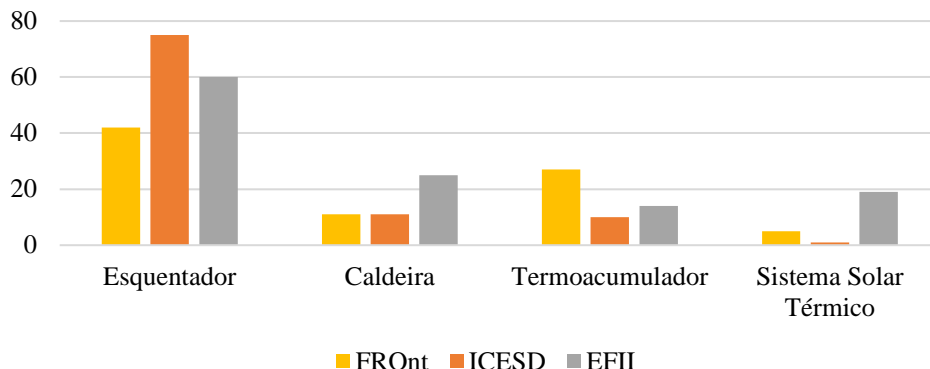


Figura 13 Peso (%) dos Sistemas de AQS nos Alojamentos Fonte: [60]

## 2.4. Evolução Legislativa em Portugal

A Figura 14 esquematiza a cronologia que apresenta a evolução legislativa em Portugal.

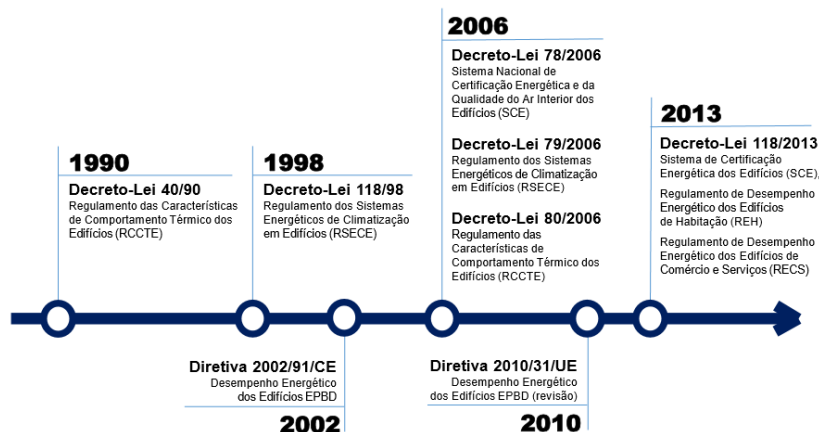


Figura 14 Evolução legislativa em Portugal relativa à eficiência energética de edifícios. Fonte: [66]

A *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), também conhecida como a Direção de Desempenho Energético dos Edifícios – Diretiva 2002/91/CE – teve como principais objetivos, a promoção de práticas que regulam a eficiência energética dos edifícios, a diminuição do consumo de energia e a dimensão das emissões de gases de efeito de estufa. Esta foi revista em 2010 – Diretiva 2010/31/UE, conhecida como EPBD recast – cujo conceito estabelece requisitos mais exigentes e impondo que a maior parte das necessidades energéticas de um edifício deverão ser cobertas por energia produzida por fontes renováveis provenientes do local ou das proximidades, a partir de 2020 para edifícios públicos novos e 2021 para todos os novos edifícios ou edifícios que sofram grandes renovações. Assim, a transposição da EPBD recast para a legislação nacional originou o Decreto-Lei 118/2013 [7].

No entanto, é impossível atingir um parque habitacional de balanço quase zero se não se atuar nos edifícios existentes. Em Portugal, o setor dos edifícios é o segundo maior consumidor de energia, sendo o parque habitacional maioritariamente composto por edifícios com mais de vinte anos, que apresentam baixos desempenhos energéticos [67]. Como tal, é fulcral encontrar meios para reabilitar edifícios de forma eficiente e rentável do ponto de vista económico [68]. As normas para que a redução das emissões se verifique, devem promover a intervenção inteligente de soluções passivas e sistemas ativos. A combinação destes dois grandes campos de atuação é a melhor forma de garantir as reduções no uso de energia e nas emissões de carbono [69].

O Decreto-Lei 118/2013, que entrou em vigor no final de 2013, reviu toda a legislação, unificando medidas de melhoria ao nível da sistematização e âmbito de aplicação, ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e o Regulamento de Desempenho Energético de Habitação (REH) [22,63]. Os últimos substituem o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), respetivamente [60].

O objetivo principal do Decreto-Lei 118/2013 é dirigir o caminho no sentido da melhoria da eficiência energética do edificado nacional e criar instrumentos e metodologias de suporte à definição de estratégias, planos e mecanismos de incentivo à eficiência energética [60]. O Decreto-Lei 118/2013 aplica-se aos seguintes edifícios [71]:

- Todos os edifícios novos;
- Todos os edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação;
- Os edifícios de comércio e serviços existentes com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m<sup>2</sup> ou 500 m<sup>2</sup>;
- Os edifícios que sejam propriedade de uma entidade pública;
- Todos os edifícios existentes, quer na habitação como de serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação.

O REH desempenha uma função predominante devido à relevância do setor residencial e dos impactos socioeconómicos provocados por esta regulamentação, em Portugal [70].

#### **2.4.1. Sistema de Certificação Energético de Edifícios**

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), é um instrumento de política energética, cuja implementação tem contribuído para uma maior atenção por parte dos cidadãos e agentes de mercado, para certos temas de eficiência energética e utilização de energias renováveis nos edifícios. Para além de rever os requisitos de qualidade térmica, procura introduzir requisitos sujeitos a padrões de eficiência

energética mínima para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, nomeadamente os sistemas de climatização, preparação de AQS e aproveitamento de energias renováveis, entre outros [60].

O sistema define que os edifícios devem possuir um Certificado de Desempenho Energético de fácil compreensão por parte dos utilizadores inexperientes bem como indicar as medidas sobre as quais se podem incidir, de forma a melhorar o seu desempenho [7]. Encontrando-se os resultados e informação recolhida aquando da emissão dos certificados energéticos, disponível para consulta e produção estatística [23,60].

O Certificado Energético de Edifícios, apresenta-se como ‘uma peça de comunicação’ [66]. Torna-se bastante interativo devido à relação entre o resultado da classe de desempenho referida e o campo de atuação existente para a sua melhoria. O documento apresenta uma etiqueta de desempenho energético na qual existe uma escala qualitativa pré-definida de oito classes (A<sup>+</sup>, A, B, B<sup>-</sup>, C, D, E, e F) que varia da classe mais eficiente A<sup>+</sup> até à classe menos eficiente F, onde é registada a classe representativa da eficiência energética do edifício (Figura 15) [71]. O leque de cores chamativo e os esquemas e desenhos ilustrativos apresentados, torna o Certificado mais perceptível a qualquer utilizador comum com os conhecimentos mínimos.

Nos edifícios novos (com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A<sup>+</sup> e B<sup>-</sup>, sendo esta última, o limiar inferior a que estes edifícios estão sujeitos. Os edifícios sujeitos a grandes intervenções têm um limiar inferior correspondente a C. Já os edifícios existentes poderão apresentar qualquer classe [72].

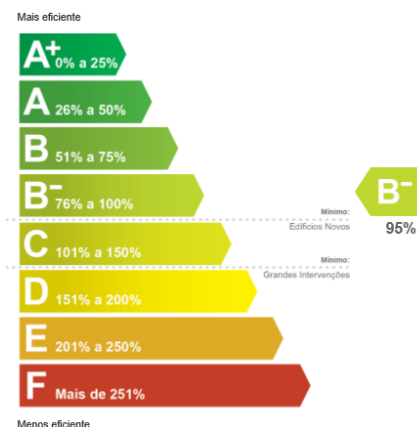


Figura 15 Classe Energética. Fonte: [73]

Resumidamente, para que um edifício possa ser classificado com a classe energética A<sup>+</sup>, este deve responder simultaneamente três aspetos essenciais [71]:

- Qualidade alta do edifício ao nível: das paredes, das janelas, o desempenho térmico e os isolamentos;
- Dispor de equipamentos de elevado grau de eficiência e baixo consumo de energia;

- Possuir a contribuição de energias renováveis.

A entidade gestora ADENE [72], no ano 2016 registou as percentagens de certificados energéticos emitidos por classe energética para edifícios de habitação em Portugal (cerca de 156,834 certificados), tendo por base os requisitos estabelecidos pela Portaria n° 349-B/2013, posteriormente alterada pela Portaria n° 379-A/2015, de 22 de Outubro (Figura 16).

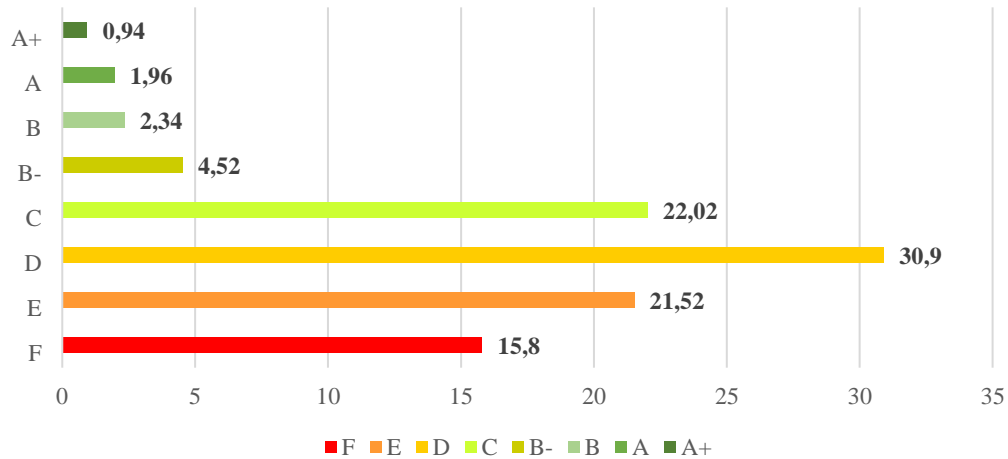


Figura 16 Certificados Energéticos emitidos por classe energética, para edifícios em Portugal, no ano 2016

Percebe-se pelo gráfico da Figura 16 que existe uma maior percentagem de edifícios etiquetados pela classe D (sexta posição numa escala de oito classes). A classe de eficiência energética D, para além de se encontrar abaixo daquilo que hoje é exigido aos edifícios novos, que é B<sup>-</sup>, também se encontra abaixo do que é permitido para edifícios sujeitos a grandes intervenções. Relativamente à classe de melhor eficiência energética (A<sup>+</sup>), esta é verificada apenas em 0,94% dos edifícios. Cerca de 16% dos edifícios apresentam a última e menos eficiente classe da escala. Tendo em conta, os resultados obtidos no ano 2016, é notório que se deve averiguar um conjunto de medidas de melhoria que visem o aumento da eficiência energética dos edifícios.



### 3. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

Até ao desenvolvimento dos sistemas estruturais, produção do vidro e, posteriormente, advento da luz elétrica, o arquiteto era, de certo modo, obrigado a considerar as condições climáticas em projeto, para assim conhecer com detalhe os efeitos do clima para o desenvolvimento de estratégias adequadas. Com a evolução verificada, a função térmica que até então era assegurada pela envolvente, foi transferida para sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento, tornando possível ao projetista assumir uma posição cómoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima. Contudo, em 1973 com a crise do petróleo e o consequente aumento dos preços da energia, a sociedade sentiu necessidade de reavaliar as suas práticas de consumo de energia. De forma a superar a crise energética, a produção de eletricidade teve de crescer muito, levando a um impacte ambiental significativo, causado por novas fábricas, poluição e riscos de segurança pública (termoelétricas e nucleares). Assim sendo, a alternativa mais eficaz seria a de aumentar a eficiência no uso da energia, que passava pelo projetista assumir um papel fulcral, reavaliando outros métodos e estratégias de projeto tornando os edifícios mais eficientes [74].

O isolamento dos edifícios é um dos fatores que mais contribui para a sua eficiência energética. No entanto, a resistência térmica dos vãos, sendo parte integrante da envolvente, é também um aspeto essencial na garantia de conforto. Verifica-se que, a nível nacional, essa resistência ainda é reduzida, dado que os alojamentos apresentam maioritariamente ‘vidro simples’. Relativamente ao isolamento de paredes e coberturas, segundo M. Tavares, 21,1% dos alojamentos têm isolamento nas paredes exteriores e, entre os alojamentos que se localizam no último piso (moradias e apartamentos localizados no último andar), só 17% têm isolamento na cobertura [75]. É então possível verificar que os aspetos construtivos da envolvente são fulcrais para que o desempenho energético se verifique e que se construam cada vez mais, edifícios eficientes, reduzindo a dependência existente dos equipamentos de climatização.

Porém, a eficiência energética nos edifícios, passa também pelo uso coerente da energia e aplicação de fontes de energia renovável nos edifícios.

Foi desenvolvido o projeto *Enerbuilding*, financiado pela União Europeia, que teve como parceria a ADENE<sup>10</sup>, com o objetivo de sensibilizar o consumidor final para a redução dos consumos energéticos. Este projeto permitiu o desenvolvimento de várias ações de informação, promovendo do uso racional de energia e a utilização de energia renovável [76].

M. Hecher, S. Hatzl, C. Knoeri e A. Posch no seu estudo [10], comprovaram a falta de informação válida por partes dos consumidores finais da energia. Estes verificaram que os indivíduos que optam por

---

<sup>10</sup> A ADENE é a Agência Nacional de Energia, associação de direito privado, sem fins lucrativos, e de Utilidade Pública, que tem como missão o desenvolvimento de atividades de interesse público, do uso eficiente da água e da eficiência energética na mobilidade [72].



sistemas alternativos e com maior eficiência energética, sustentam a sua escolha em informação especializada e procurando aprofundar ainda mais, junto de especialistas, a melhor solução para o seu problema. O contrário acontece com aqueles que preferem optar por sistemas convencionais e consequente maior consumo de energia, sustentando a sua adoção em opiniões e informações gerais de conhecidos e instaladores. Este estudo consegue assim identificar dois dos três grandes problemas que o *Enerbuilding* apresenta: a falta de informação e conhecimento válidos por parte dos consumidores de energia, a escassa proposta de soluções tecnologias inovadoras e falta de competência por parte dos instaladores [76].

O terceiro problema está no projeto e construção dos edifícios, da responsabilidade dos arquitetos, engenheiros e até construtores, uma vez que, tal como já foi referido, não atendem aos procedimentos e regras para a eficiência energéticas dos edifícios e não fazem um aproveitamento de fontes de energia renovável, disponíveis localmente [76]. Sendo assim, neste Capítulo são abordados os conjuntos de soluções passivas e ativas de aquecimento, arrefecimento e ventilação, atualmente utilizados em edifícios habitacionais. Em seguida verificam-se e destacam-se as soluções e sistemas mais eficientes e que provem uma melhor classe na Certificação Energética, recorrendo a uma análise SWOT.

### **3.1. Sistemas Ativos**

Tal como já foi referido, a eficiência energética dos edifícios reside essencialmente na otimização das características construtivas dos mesmos. É um princípio que embora não seja o suficiente, é fulcral, quando aliado a sistemas energéticos – sistemas ativos – para que a eficiência energética seja efetivamente alcançada. Um dos principais problemas dos sistemas ativos é que podem provocar impactos negativos sobre o meio ambiente [65].

A escolha dos equipamentos continua a ser um grande dilema para muitas famílias portuguesas. É então necessário ter em atenção certos fatores que são essenciais no momento da adoção de um equipamento: o tipo de habitação (apartamento ou moradia), o espaço disponível para armazenar o equipamento, a qualidade de isolamento do alojamento, a localização e orientação do edifício, a possibilidade de combinação do equipamento com outras fontes de energia renováveis (FER), a capacidade de investimento inicial, o período de retorno, o consumo energético que não se pretende ultrapassar e as emissões dos gases do efeito de estufa (GEE) [65]. Como tal, neste capítulo são discriminados os sistemas ativos atualmente mais utilizados nos edifícios residenciais, para que toda a informação sirva posteriormente, como base para a escolha e seleção das melhores soluções. Para o efeito, são descritos mais pormenorizadamente:

- caldeira de aquecimento central;
- *Multi-split*/ bomba de calor ar-ar;
- sistema solar térmico e equipamentos de apoio para preparação AQS.

Optou-se apenas por estes sistemas, uma vez que descrever todos, tornaria o presente documento bastante extenso. No entanto, foram referidos outros tipos de equipamentos que promovem a eficiência energética, no Capítulo das medidas de melhoria. Para além das diferentes vertentes da bomba de calor (ar/água e água/água) foram também referidas as salamandras a biomassa e os painéis solares fotovoltaicos.

A presente dissertação abrange os sistemas ativos de aquecimento – aquecimento e AQS –arrefecimento e ventilação.

Existem duas grandes famílias no que respeita aos sistemas ativos: os sistemas de aquecimento por circulação de água e os sistemas de aquecimento e arrefecimento por expansão direta. Relativamente à primeira, esta divide-se em três subsistemas:

- subsistema de produção – equipamentos que fazem a transformação de energia final em calor;
- subsistema de difusão – constituído pelas unidades terminais, como os radiadores e unidades interiores dos ar condicionado, torneiras e chuveiros, para o caso de AQS;
- subsistema de distribuição – engloba todas as tubagens e seus acessórios.

Quanto à segunda família, também conhecida como sistemas de aquecimento e arrefecimento por fluido frigorigéneo ou por ar-condicionados do tipo split ou multi-split. O princípio de funcionamento destes sistemas resume-se a absorver a energia de um local e libertá-lo noutro. Para que isto aconteça, é necessário ligar uma unidade que se encontre no interior da habitação a uma unidade que se encontre no exterior, através de tubos – geralmente em cobre. Dentro dos tubos, circula um fluido frigorigéneo<sup>11</sup>. Estes equipamentos possuem modelos que apenas efetuam o arrefecimento da habitação e modelos com capacidade de aquecer e arrefecer a mesma, como é o caso da bomba de calor, que é mais à frente descrita [77].

Começa-se assim por referir os equipamentos existentes ao nível do aquecimento ambiente e arrefecimento (Figura 17).

### **3.1.1. Soluções e sistemas de Climatização**

Neste capítulo são descritos os equipamentos mais utilizados, no âmbito nacional, para a climatização dos edifícios. Como tal, o diagrama apresentado na Figura 17, apresenta esses equipamentos, bem como a fonte de energia utilizada pelos mesmos. Note-se que, ao nível das fontes de energia, existem duas tonalidades de cor verde. A cor verde mais escura, diz respeito às fontes de energia totalmente renováveis (biomassa). Por sua vez, a cor verde mais clara, corresponde às fontes de energia parcialmente renováveis. A bomba de calor é um equipamento com fonte de energia parcialmente

---

<sup>11</sup> Refrigerante R-410A – funções: absorção, transporte e libertação da energia de uma unidade para a outra.

renovável, na medida em que, utiliza no seu funcionamento, a renovável do ar. No entanto, para que funcione, precisa sempre de eletricidade.

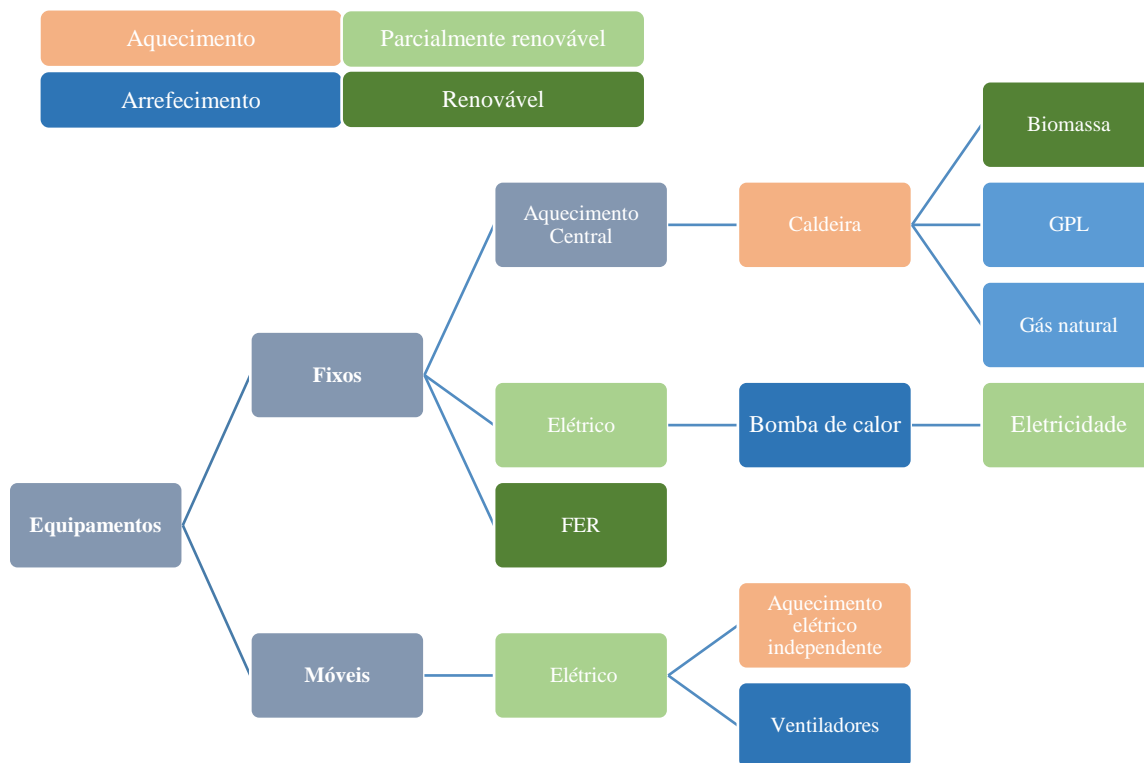


Figura 17 Diagrama dos Equipamentos (fixos e móveis) mais utilizados em Portugal, para climatização

### 3.1.1.1. Equipamentos Fixos

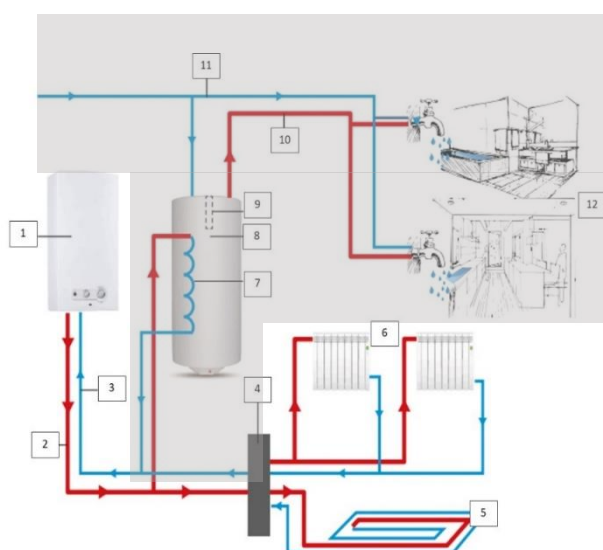
#### *Aquecimento Central*

Desde finais de outubro até março ou abril, é extremamente agradável possuir um sistema que nos permita manter uma temperatura de 20°C no interior. Esta temperatura para além de possibilitar o conforto vai diminuir a desagradável sensação de humidade e evitar a formação de humidades e bolores. Como tal, o aquecimento central é um sistema que nos permite aumentar a temperatura ambiente e baixar a humidade relativa do ar no interior de um espaço fechado, criando condições favoráveis aos ocupantes, mantendo-os confortáveis, mesmo em situações de baixas temperaturas exteriores [78].

O princípio de funcionamento de um sistema de aquecimento central é, regra geral, muito simples: a água é aquecida na unidade geradora de calor – normalmente numa caldeira – e conduzida a todos os emissores – radiadores murais, piso radiante ou ventiloconvetores, através da instalação de tubagens preparada para a passagem de água quente. Ocorre assim uma troca energética com a água, que conduz ao aquecimento do ar circundante por convecção [79,80]. Um sistema de aquecimento central é constituído por quatro elementos essenciais e um opcional [73,74]:

- Gerador de calor: geralmente uma caldeira, na qual se recomenda que a água seja aquecida à temperatura de 70°C, uma vez que o aquecimento a temperaturas superiores causa maior desgaste dos equipamentos e não garante maior conforto;
- Sistema de distribuição e emissão de calor: composto por tubagens, bombas e radiadores, no interior dos quais a água circula, distribuindo calor;
- Unidades de regulação e controlo: servem para adequar a resposta do sistema às necessidades de aquecimento, procurando que se alcancem, mas não se ultrapassem, as temperaturas de conforto preestabelecidas;
- Depósito acumulador de água sanitária (elemento opcional).

A Figura 18 apresenta um esquema que indica os elementos que intervêm num sistema de aquecimento central. Neste caso, omite-se a função de sistema para produção AQS, uma vez que, a caldeira nesta fase é avaliada apenas como equipamento utilizado no aquecimento ambiente.



#### Legenda:

1. Caldeira;
2. Tubagem rede água quente;
3. Tubagem rede água fria;
4. Permutador de calor de placas;
5. Piso radiante;
6. Radiadores;
7. Permutador tipo serpentina;
8. Depósito;
9. Anodo de magnésio;
10. Distribuição de água quente;
11. Água da rede de abastecimento;
12. Pontos de consumo.

Figura 18 Esquema do Aquecimento Central. Fonte:[81] Adaptado

### *Caldeiras murais*

#### Descrição e funcionamento dos sistemas

Como verificado no capítulo anterior, a utilização das caldeiras como equipamento de climatização é bastante solicitada no panorama nacional, apresentando uma maior utilização de gás canalizado (cerca de 45%) como combustível.

As caldeiras convencionais (Figura 19) são denominadas de caldeiras de alta eficiência e apenas utilizam uma parte do calor que é gerado pela queima de combustível fóssil. Para um alcance de rendimento de 100%, é necessário que a água da caldeira atinja os 60°C/70°C. Ainda assim, estas caldeiras apresentam 91% a 93% de eficiência. Cerca de 11% da energia produzida através da combustão, é perdida, pois quando ocorre a produção de vapor de água (durante a combustão), este é lançado para a atmosfera pela chaminé de alojamento, transportando consigo uma relevante quantidade de calor – calor latente de vaporização – que corresponde à energia perdida [62,75]. A durabilidade média de uma caldeira é de 20 anos [65].



Figura 19 Caldeira convencional a gás. Fonte:[83]

Relativamente a este equipamento é possível caracterizá-lo tendo em conta diferentes parâmetros, nomeadamente, combustível utilizado, serviço para o qual é requisitado e extração dos gases.

As caldeiras tradicionais podem utilizar como combustível o gás ou gasóleo. Ambas são responsáveis por produzir água quente tanto para uso sanitário como aquecimento central. As primeiras, funcionam tanto com gás natural como com gás de botija – este último não é muito viável, na medida em que, se trata de uma opção de rápido consumo, que conduz à substituição da botija frequentemente [78]. As caldeiras que utilizam gasóleo como combustível, tiveram em tempos uma grande procura, dado os seus preços, no entanto considera-se este combustível mais poluente. [71,75].

Estes equipamentos podem produzir água quente sanitária instantaneamente ou por acumulação, como apresentado na Figura 20, sendo que na primeira situação, a água fria entra diretamente na caldeira onde é aquecida de uma forma instantânea à medida que vai circulando pelo permutador de calor do aparelho. Na segunda situação, a água fria da rede de distribuição pública entra no acumulador onde é aquecida através do seu permutador e serpentina. No interior da serpentina, circula a água que é aquecida no circuito fechado, pela caldeira. Assim garante-se o fornecimento simultâneo em vários pontos de tiragem, torneiras (no caso de produção AQS) e radiadores, dependendo da capacidade do acumulador e da potência da caldeira [85].

Existem caldeiras com diferentes tipos de extração de gases: natural, câmara aberta, estanque, ventilada e de condensação [78]. No então, apenas são discriminadas as caldeiras convencionais, que utilizam exaustão natural, e as caldeiras de condensação, por serem consideradas o tipo de caldeiras mais eficientes e comercializadas atualmente.

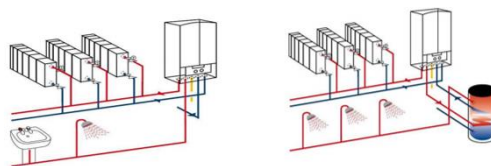


Figura 20 Caldeira mural com preparação AQS e aquecimento: instantaneamente e por acumulação. Fonte:[77]

As caldeiras de exaustão natural, fazem a extração dos gases queimados, resultado da combustão do gás e oxigénio, tal como o nome indica, de forma natural. Os gases apresentam uma elevada temperatura à saída da caldeira, pelo que, naturalmente, são evacuados através de uma chaminé corretamente dimensionada e concebida para o efeito [78]. As caldeiras de condensação, por sua vez, apresentam uma tecnologia que permite aproveitar o calor do fumo de escape proveniente da combustão. O alto valor energético do vapor de água criado devido à combustão do combustível, pode ser aproveitado aquando da condensação do vapor. Os gases são extraídos da caldeira a uma temperatura elevada (cerca de 200°C). Na chaminé, a sua temperatura desce para 55°C, dando-se assim a condensação e a perda de calor respetiva. Este calor quando usado para pré-aquecer a água de entrada da caldeira, consegue um melhor aproveitamento da energia do combustível, reduzindo assim o consumo em cerca de 20 a 45% em relação às caldeiras convencionais. Por esta razão é considerada a caldeira com maior rendimento [71,74].

O regulamento Europeu de Ecodesign, atualmente, apenas permite a comercialização de caldeiras de condensação, exceto os modelos destinados a substituir caldeiras em edifícios equipados com chaminés coletivas de exaustão natural [81]. Este tipo de caldeiras de baixo consumo e baixa temperatura garante um eficiente comportamento energético da habitação [86]. Pode verificar-se através da Figura 21, as diferenças existentes ao nível do funcionamento das caldeiras.

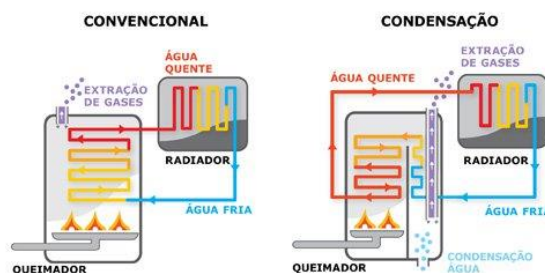


Figura 21 Caldeira convencional vs. Caldeira condensação. Fonte:[87]

Contudo a utilização destas energias – gás e gasóleo – para combustão, sendo prejudicial para o ambiente, fez com que se tenham desenvolvido sistemas com recurso a energias renováveis, tais como: combinação da caldeira com um sistema solar térmico; caldeiras a lenha; bombas de calor ar/água (aertermia), terra/água (geotermia) ou água/água (hidrotermia) [80].

A Tabela 3 apresenta os valores médios na aquisição de uma caldeira, assim como o seu custo de exploração anual [86]. O custo de exploração anual abrange os custos de aquisição, transporte, instalação; os custos relativos, por unidade de tempo, da energia consumida, em euros por ano; e custos relativos, por unidade de tempo, dos recursos humanos (mão-de-obra) afetos ao setor de manutenção, em euros por ano [88].

Tabela 3 Custos de investimento e custos de exploração de Caldeiras convencionais e de condensação

	<b>Custo médio (€)</b>	<b>Custo de exploração anual (€)</b>
<b>Convencional 24kW GN</b>	842,96	2 463,75
<b>Convencional 24kW GPL</b>	842,96	3 051,98
<b>Condensação 24kW GN</b>	1 561,28	2 190,00
<b>Condensação 24kW GPL</b>	1 561,28	2 778,67

Através da análise aos custos de cada caldeira, verifica-se que, em termos de fonte de energia utilizada, o valor médio de custo, não varia. Em termos de custo de exploração anual, as caldeiras que utilizam GPL, apresentam custos mais elevados. Ao nível das caldeiras, verifica-se que a convencional é a que apresenta um valor de aquisição mais baixo, embora, o seu custo de exploração anual, seja superior às caldeiras de condensação. Uma simulação realizada a uma moradia de 200 m<sup>2</sup>, concluiu que pela substituição de uma caldeira convencional 24kW GPL por uma caldeira condensação 24kW GN, se obtém uma poupança anual de 862,0€ [86]. A tabela que apresenta a análise SWOT realizada a este equipamento, encontra-se no Anexo C [78-80, 81, 83-85].

### *Bomba de calor*

#### Descrição e funcionamento do sistema

O ar condicionado, também conhecido como bomba de calor ar/ar, é um sistema requisitado por cerca de 26% das famílias portuguesas, para suprimir as necessidades de arrefecimento (e aquecimento) do ambiente. Trata-se de sistemas de ar condicionado tradicionais, com a vantagem de arrefecerem no verão [84].

Existem diferentes sistemas de ar condicionado: o portátil, o split e o multi-split. O primeiro, pode ser utilizado, quando a habitação não possui pré-instalação de aquecimento central. O ar condicionado *portátil split* tem uma unidade interior e exterior, interligadas por tubagem. É pouco eficiente, porque obriga a ter uma janela entreaberta para a passagem da tubagem, reduzindo o efeito da climatização. O portátil monobloco, consiste numa unidade interior, muito ruidosa e pesada. A sua eficiência é normalmente baixa. Obrigam a ter um tubo de exaustão do calor para o exterior, perdendo parte do efeito da climatização. Apresenta a vantagem de ser portátil e arrefecer/aquecer várias divisões da casa, à vez [91, 92].

Se o edifício apresentar uma pré-instalação de ar condicionado, ou o seu proprietário estiver disposto a fazer obras nesse sentido, pode optar-se pelo sistema *split* ou *multi-split*, (Figura 22). O primeiro, conta

com uma unidade instalada no exterior da habitação, ligada a uma unidade que pode ser de vários tipos: murais, cassetes, etc. Estes são unidades fixas e têm de ser instaladas por um profissional. O *multi-split* tem uma unidade instalada no exterior e até 5 unidades interiores.

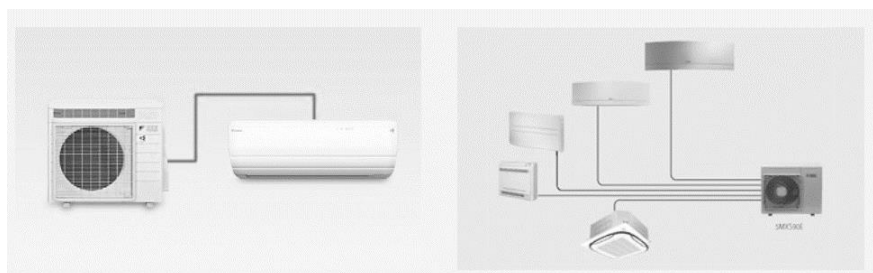
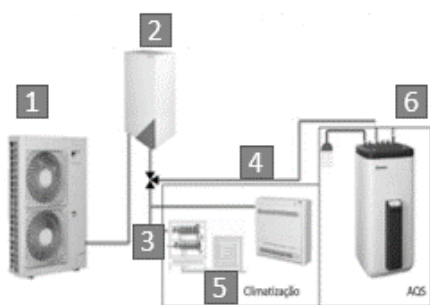


Figura 22 Sistema split e multi-split. Fonte:[93]

Existem ainda as bombas de calor ar/água, que permitem, para além da climatização, a preparação de águas quentes sanitárias. São equipamentos compostos por duas unidades (Figura 23), uma unidade exterior com todos os elementos necessários para poder absorver a energia do ar exterior, bem como para dissipar calor no Verão e uma unidade interior que possui um módulo hidráulico com funções distintas, segundo o serviço pretendido: aquecimento, arrefecimento ou águas quentes sanitárias [92].



Legenda:

1. Unidade exterior – bomba de calor;
2. Unidade interior – módulo hidráulico;
3. Climatização – radiadores;
4. Climatização – ventiloconvetores;
5. Climatização – piso radiante;
6. AQS – Depósito para águas quentes sanitárias

Figura 23 Sistema combinado – Equipamentos de climatização e AQS Adaptado fonte:[93]

Estes são aparelhos que devido à sua conceção permitem produzir em média três vezes mais potência do que a consumida. Por exemplo, com um consumo de 1 kW pode-se produzir até 3 kW. Estas são assim ideais para situações em que há necessidade de arrefecimento no verão<sup>12</sup>. Neste caso, os elementos interiores deverão ser ventiloconvetores. Nos casos em que só é necessário aquecimento, devem utilizar-se os mesmos ventiloconvetores ou sistemas por piso radiante a baixa temperatura [84].

Os equipamentos de bombas de calor podem ser ar-água de baixas e altas temperaturas, dependendo da aplicação [65]. Os primeiros que funcionam a baixas temperaturas e destinam-se a habitações novas ou em situações que se deseje combinar este equipamento com uma caldeira já existente. Para a emissão

<sup>12</sup> Para as necessidades de arrefecimento, a bomba de calor, apresenta um **sistema reversível**, que movimenta o calor na direção contrária, para arrefecer o ar [86].



de calor podem ser utilizados pisos radiantes hidráulicos, radiadores de baixa temperatura ou unidades ventiloconvetores. Este sistema pode também funcionar para produção de AQS, arrefecimento e pode ainda possibilitar a combinação com painéis solares de águas quentes. Os segundos por sua vez, que funcionam a altas temperaturas, são utilizados na substituição de caldeiras tradicionais, sendo necessários radiadores de alta temperatura para a emissão de calor.

A eficiência da gama de bombas de calor, pode ser mais elevada quando utilizam a tecnologia *inverter*. Neste sistema (Figura 24), o compressor em vez de parar como no sistema convencional quando atinge a temperatura desejada, baixa o regime de funcionamento, evitando arranques e paragens frequentes. Assim, reduz-se o consumo do sistema e mantém-se a temperatura real com menos variações em relação à temperatura solicitada e com menor nível sonoro. Este tipo de sistemas permite reduzir o consumo de energia em cerca de 30%, quando comparados com sistemas convencionais [94].

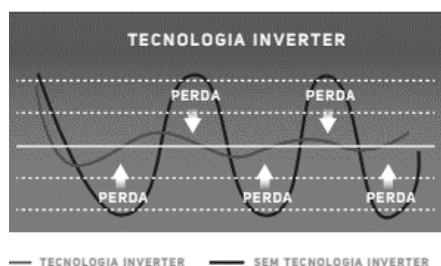


Figura 24 Gráfico de perdas Tecnologia Inverter vs Tecnologia Tradicional. Fonte: [94]

A tabela que apresenta a análise SWOT realizada a este equipamento, encontra-se no Anexo C [84, 86, 87-92, 94].

### 3.1.1.2. Equipamentos móveis

#### *Equipamentos Elétricos*

A utilização de equipamentos que consomem energia elétrica em atividades diárias é uma necessidade que se encontra enraizada no modo de vida atual [97]. Este tipo de equipamentos permite uma instalação sem obras, através de uma simples fixação e ligação do circuito elétrico mais apropriado. Trata-se de equipamentos, cujo preço de aquisição é bastante acessível, apresentando no entanto, um elevado consumo de energia elétrica, podendo ser pouco eficiente [84]. Existem equipamentos elétricos fixos e móveis [65]. Verifica-se que em termos de equipamentos elétricos, os mais utilizados são os de aquecimento independente – radiador a óleo, convetor, termoventilador e aquecedor cerâmico – e os ventiladores como equipamento de arrefecimento. Para a presente dissertação, a descrição exaustiva de cada equipamento não é essencial, na medida em que, são equipamentos que apenas suprimem as necessidades pontuais dos ocupantes.

### 3.1.2. Soluções e sistemas de produção AQS

A água quente sanitária (AQS) corresponde à água de consumo doméstico que se pretenda a uma temperatura superior à que é fornecida pela rede de abastecimento público [85].

O estudo efetuado, no contexto nacional, acerca da utilização de equipamentos de produção AQS, permitiu verificar que associado ao sistema solar térmico, são utilizados como sistemas de apoio um dos seguintes equipamentos: o esquentador (representa a maior adesão), o termoacumulador e a caldeira.

#### 3.1.2.1. Sistema solar térmico

##### *Descrição e funcionamento do sistema*

O Decreto-Lei 80/2006 – RCCTE - Regulamento que já não se encontra em vigor, sendo substituído pelo REH– estabeleceu requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização. Este regulamento impôs limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes de energia com menor impacto em termos de energia primária. A legislação continua a impor a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável [98].

O sistema solar térmico constitui um dos sistemas mais acessíveis para aquecer a água. O seu princípio de funcionamento baseia-se na captação da energia solar e de seguida transformá-la em calor. Os sistemas solares térmicos necessitam sempre de uma fonte de energia que complemente ou substitua a energia solar no caso desta não estar disponível – de noite ou em dias encobertos. Contudo, é da máxima importância optar por um sistema de AQS que dê prioridade à energia solar complementando com uma fonte de energia convencional (gás natural ou eletricidade) [99]. O sistema solar é normalmente dimensionado para proporcionar uma cobertura anual de cerca de 50% a 80% das necessidades de aquecimento de água. Os restantes 50% e 20% são fornecidos pelo sistema de apoio [100].

Um sistema solar térmico é constituído pelos seguintes componentes (Figura 25))[86]:

- Coletores solares (1) – captam a energia solar para aquecer o líquido que circula no interior do mesmo. Podem ser interligados entre si para aumentar a sua capacidade de aquecimento;
- Depósito acumulador (2) – depósito para acumular a água quente produzida pelo coletor solar. É constituído por pelo menos uma serpentina no interior que com a passagem do líquido no seu interior, previamente aquecido no coletor, transfere toda a sua energia para a água que se encontra no seu interior, proporcionado assim o seu aquecimento. Pode também possuir uma resistência elétrica como apoio ao aquecimento de água, em especial no Inverno;
- Grupo hidráulico (3) – constituído por uma bomba de circulação, caudalímetro, termómetros e ligação ao vaso de expansão, onde o seu principal objetivo é fazer circular a água entre os coletores e o acumulador, de modo a obter a permuta térmica;

- Controlador (4) – aparelho eletrónico que controla o grupo hidráulico de forma automática. É constituído por sondas de temperatura tanto no coletor, como no acumulador, e pela mediação da temperatura nestes dois pontos, sempre que a temperatura no coletor for superior à do acumulador, o grupo hidráulico arranca.

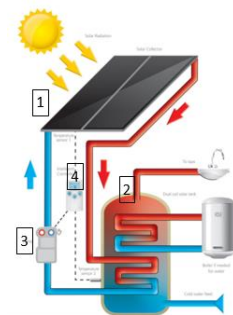


Figura 25 Sistema Solar Térmico. Fonte:[101]

O funcionamento do sistema solar ocorre da seguinte forma: a radiação solar incide sobre a cobertura de vidro dos coletores solares e é transferida por calor para o fluído que circula no interior dos tubos de cobre que constituem o coletor. Este fluído, ao sofrer o aquecimento, circula em circuito fechado e transfere calor através da serpentina de depósito, aquecendo a água acumulada. A circulação do fluído é gerida e controlada pelo regulador solar e pelo grupo de circulação em função das temperaturas registadas na medição [86].

Existem essencialmente dois tipos de sistemas: termossifão e circulação forçada (Figura 26). No primeiro, o fluído térmico aquece no coletor e torna-se menos denso, subindo do coletor para o depósito por efeito termodinâmico. Entretanto, o fluído térmico dentro do depósito arrefece e desce para o coletor novamente, estabelecendo um ciclo. Um dos riscos deste sistema está na ocorrência de circulação inversa durante a noite, sendo que uma forma de evitar este fenómeno é colocar o depósito a uma distancia de 30 cm, e a instalação de uma válvula anti-retorno. Este tipo de sistema é utilizado normalmente em moradias unifamiliares e sistemas de pequenas dimensões. Relativamente ao segundo sistema, existem várias razões que podem levar a optar-se por este sistema. Quando o sistema de termossifão apresenta baixo rendimento, ou até mesmo por uma questão estética, opta-se pelo sistema de circulação forçada, sendo necessária a utilização de uma bomba hidráulica para fazer o transporte do fluído entre os coletores e o depósito termoacumulador. É normalmente utilizada em habitações (unifamiliar e edifícios coletivos), serviços (restaurantes, hotéis) e indústria [100].

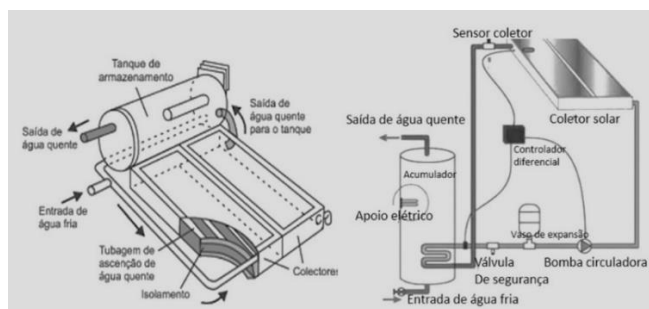


Figura 26 Sistema Termossifão e Circulação forçada. Fonte: [96]

As vantagens e desvantagens dos sistemas termossifão e circulação forçada, encontram-se descritas sob a forma de tabela no Anexo B [80,95].

### 3.1.2.2. Sistemas de apoio

Os sistemas de apoio são equipamentos que têm a função de repor a temperatura de água nos períodos em que a energia solar não seja suficiente para suprir as necessidades de água quente [102]. São normalmente utilizados, esquentadores, termoacumuladores e caldeiras. Para além dos mais utilizados, deve-se destacar também a resistência elétrica no interior dos depósitos, bem como as bombas de calor. A descrição, funcionamento e análise SWOT da caldeira e da bomba de calor, já foram descritas no sistema de climatização.

#### a) Termoacumulador

No mercado nacional existem os termoacumuladores elétricos e os termoacumuladores a gás propano, sendo que, independentemente da fonte de energia, estes são responsáveis pela preparação de AQS [77]. Os termoacumuladores elétricos, são depósitos de acumulação de água equipados de um termostato e resistência elétrica<sup>13</sup> que transforma a energia elétrica em energia calorífica, para aquecimento da água [81]. O termostato permite acionar ou desligar a resistência conforme a temperatura ambiente desejada. É fundamental que o termostato seja regulado para uma temperatura perto dos 60°C, uma vez que uma temperatura abaixo dos 55° C, pode promover o desenvolvimento de bactérias. Por outro lado, se a temperatura for demasiado elevada, os depósitos de calcário, a corrosão, as perdas de calor e o risco de queimaduras aumentam. Se o interior do termoacumulador for em chapa esmaltada e não possuir um ânodo de magnésio<sup>14</sup>, é aconselhável instalar um, de forma a evitar a formação de ferrugens.[103]. Quando a fonte de energia usada é o gás propano, os gases de combustão produzidos no queimador

<sup>13</sup> A resistência elétrica deve ser controlada obrigatoriamente através de um relógio programador que garanta a prioridade ao aquecimento solar.

<sup>14</sup> Tubo de magnésio colocado no interior do depósito para que o oxigénio da água reaja com o magnésio em vez de reagir com o corpo do depósito, evitando a formação de ferrugem – fenómeno que provoca a perfuração do depósito, obrigando à sua substituição [81].

aquecem o tubo de fogo, que, por sua vez, transfere este calor para a água, equiparando-se assim aos esquentadores [77]. A sua capacidade varia entre 30 e os 200 litros [103].

### b) Esquentador

Os esquentadores são aparelhos instantâneos, ativados no momento em que é solicitada a água quente, através da abertura da torneira. A água é aquecida através do calor libertado na combustão do gás. Os produtos da combustão que daí resultam são evacuados para o exterior através de uma conduta. Para que a combustão se concretize de forma completa, é necessário prever uma admissão de ar adequada. Estes aparelhos são caracterizados pelo caudal de água debitado em litros por minuto, e pela temperatura que acrescentam à água da rede. Relativamente ao seu caudal, este pode variar entre 5 e 27 l/min [81]. Tal como nas caldeiras murais, também começam a surgir os modelos de condensação, que se traduzem num aumento significativo da eficiência de transformação de energia [77]. A Figura 27 apresenta o sistema solar térmico com a caldeira a gás como sistema de apoio.

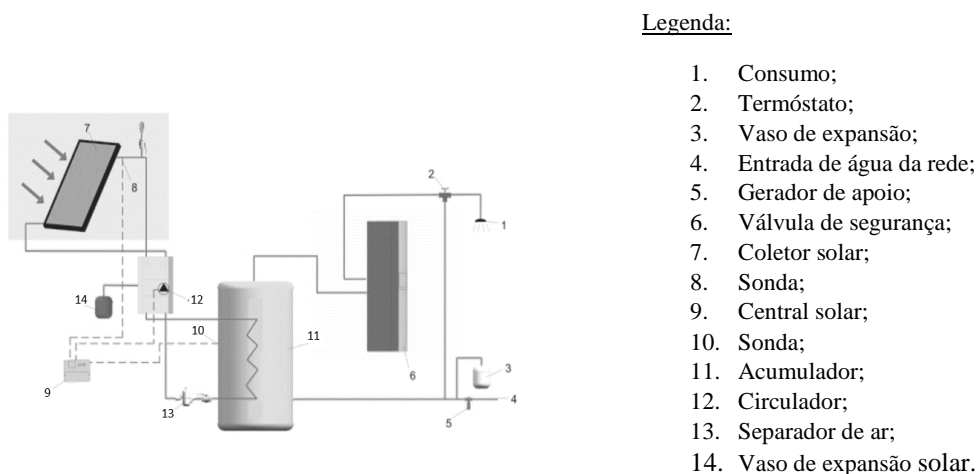


Figura 27 Sistema solar térmico com caldeira com depósito como sistema de apoio Fonte:[104]

No caso de o sistema ser um esquentador ou caldeira a gás, sem modulação de chamas por temperatura, ligados em série com o depósito solar, deve ser utilizado um sistema de válvula misturadora desviadora termostática. Esta tem como função a entrega de água aquecida pelo sistema solar diretamente ao consumo, sem passar pelo sistema de apoio, exceto quando a temperatura da água proveniente do depósito solar for inferior à temperatura previamente selecionada (normalmente, 45°C a 48°C) [102]. A análise SWOT do Sistema solar térmico e dos sistemas de apoio, encontra-se no Anexo C [86, 95, 100,101, 105].

### 3.2. Soluções Passivas

A climatização eficiente de um edifício passa por uma solução integrada e otimizada de medidas passivas, complementada pelo sistema ativo. Este tipo de climatização assume um papel fundamental na redução dos custos de exploração. Efetivamente as medidas passivas aplicadas em fase de projeto e construção contribuem para minimizar os consumos e custos com a energia durante toda a vida do edifício [107].

Os sistemas solares passivos são aqueles em que as trocas de energia para aquecimento ou arrefecimento se fazem por meios naturais. Estes compreendem várias medidas e técnicas de aplicação prática que se classificam consoante a função a que se destinam, em aquecimento ou em arrefecimento [108]. Segue-se a Tabela 4 que apresenta algumas destas medidas.

Tabela 4 Sistemas de Climatização Passiva

<b>Sistemas de Climatização Passiva</b>					
Sistemas de Aquecimento			Sistemas de Arrefecimento		
Direto	Indireto	Isolado	Direto	Indireto	Isolado
Janelas Solares; Lanternim; Claraboia.	Paredes de Armazenamento Térmico; Coberturas de Armazenamento Térmico; Pavimentos de Armazenamento Térmico.	Estufas; Sistemas de Termossifão.	Proteção Solar; Ventilação; Construções Enterradas; Evaporação; Desumidificação	Radiação noturna; Ventilação dos Elementos de Armazenamento Térmico.	Ventilação a partir de zonas separadas.

Na impossibilidade de se descreverem todos os sistemas referidos na Tabela 4, uma vez que resultaria na grande extensão do presente documento, a análise é feita, relacionando alguns sistemas passivos com a norma ‘Passivhaus’.

#### ▪ Edifícios Passivos – a norma alemã ‘Passivhaus’

Em meados de 1995, Wolfgang Feist, reúne e classifica os conceitos passivos adotados nos casos de estudo realizados e classifica-os na norma ‘Passivhaus’. Na Europa Central, o desenho passivo está intrinsecamente associado à norma alemã, no entanto, nos países do Sul da Europa, fatores como o clima, condicionam a aplicação da norma. Como tal, desenvolveu-se uma proposta de revisão pela associação ‘Passive-On’<sup>15</sup> que definem a norma para climas quentes, através dos seis pontos seguintes [109]:

<sup>15</sup> Projeto de investigação e disseminação, financiado pelo programa ‘Save Intelligent Energy for Europe’. O projeto tem como objetivo, promover a construção de edifícios passivos em climas temperados.

- Critério de aquecimento: as necessidades úteis não podem exceder o limite de  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ ;
- Critério de arrefecimento: as necessidades de calor sensível úteis, não podem exceder o limite de  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ ;
- Critério de energia primária: o consumo de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente de águas quentes sanitárias e os equipamentos elétricos, não deverá exceder o limite de  $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ ;
- Estanqueidade do ar: a qualidade do ar interior e o elevado nível de conforto térmico forem assegurados por meio de um sistema mecânico de ventilação, a envolvente do edifício deve cumprir o teste de pressurização ( $50 \text{ Pa}$ ), de acordo com a norma EN 13829, em não mais de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Em localizações com condições de projeto com temperaturas acima de  $0^\circ\text{C}$ , o teste de pressurização com um limite de  $1.0 \text{ h}^{-1}$  (a  $50 \text{ Pa}$ ) é normalmente suficiente para atingir o critério de aquecimento;
- Critério de conforto térmico durante o inverno, a temperatura interior deve ser mantida acima de  $20^\circ\text{C}$ ;
- Critério de conforto térmico durante o verão, a temperatura interior dos espaços deve permanecer no intervalo de conforto definida na norma EN 15251. Se existir um sistema principal de arrefecimento ativo, a temperatura operativa do espaço deve poder ser mantida abaixo de  $26^\circ\text{C}$  não permitindo a excedência da temperatura de  $26^\circ\text{C}$  num intervalo de tempo superior a 10% durante a estação de arrefecimento.

Os edifícios passivos não necessitam de uma estratégia que seja completamente diferente da abordagem que se faz na construção de edifícios atuais, apenas mais cuidadosa. De facto, a mesma abordagem pode ser usada, mas aplicando pequenas melhorias nos detalhes de construção, como mais isolamento, usar janelas de maior eficiência e assegurar a estanqueidade do edifício [110]. São muitas as estratégias solares passivas que podem contribuir para a redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício, sendo que a sua utilização depende do clima e das características envolventes em que este se insere. Trata-se portanto de medidas passivas que devem ser concebidas de acordo com o fim que se pretende atingir [111].

### **3.2.1. Desenho solar passivo**

Os edifícios devem ser compactos na sua forma, para reduzir a área de superfície. As janelas deverão ser orientadas a Sul no hemisfério norte e a Norte no hemisfério sul, conseguindo-se assim, maximizar os ganhos provenientes da radiação solar. Contudo, em alguns climas, os ganhos solares podem ser muito pequenos quando comparados com a total de energia requerida pelo edifício, como tal, ainda se torna um desafio promover a redução das suas necessidades energéticas nesta situação. A inércia térmica<sup>16</sup> elevada – capacidade de um edifício contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou

---

<sup>16</sup> A inércia térmica pode ser explorado a diferentes níveis, associado a um correto isolamento térmico e ventilação [108].

seja, reduzir a transferência de calor [112] – é desejável, conseguindo-se que no seu interior se mantenham temperaturas estáveis nas estações mais frias, evitando-se sobreaquecimentos nos períodos em que os dispositivos de sombreamento não são tão eficazes [71]. Sendo assim, a norma baseia-se em seis princípios básicos fundamentais na construção *Passivhaus* [101,105]: isolamento otimizado, estanqueidade ao ar (controlo de infiltrações), massa térmica, ventilação mecânica com sistema de recuperação de calor e vãos envidraçados de alta qualidade térmica e proteção solar (Figura 31).

A caracterização do clima de Portugal e os seus dados climáticos são instrumentos imprescindíveis de avaliação no planeamento e construção de um edifício. Estes influenciam no desempenho da edificação sob o aspeto da transferência de calor através dos materiais empregues, que alteram as condições dentro do ambiente interno, em termos da temperatura do ar, temperatura média radiante, ventilação e humidade [108].

#### **a) Isolamento otimizado**

Um adequado isolamento térmico dos elementos construtivos opacos permite a redução dos ganhos e perdas térmicas. Como tal, é importante o cumprimento dos valores de isolamento recomendados pela legislação, bem como uma constante atenção às falhas que possam ocorrer no isolamento de condutas e outros elementos em contacto com o exterior [111]. A melhoria do isolamento térmico ao nível das paredes, coberturas e pavimentos, irá refletir-se diretamente no grau de conforto do edifício e também nas suas necessidades de energia. Quando se aumenta o nível de isolamento, ocorre o aumento da resistência ao fluxo de calor entre o interior e o exterior do edifício – reduz significativamente a passagem de calor, por condução, entre os dois espaços[108]. Na prática, o uso de isolamento térmico conduz a menores diferenças de temperatura entre o espaço interior e a superfície interior da envolvente. Em termos de conforto, dado que a convecção natural é promovida devido à existência de superfícies com temperaturas mais baixas, se a diferença de temperatura for mais pequena, a velocidade com que ocorre a convecção natural diminui porque o ar se move mais lentamente. Como tal, ao conseguir-se um elevado nível de isolamento, reduzem-se as necessidades de aquecimento e consequentemente torna-se possível aquecer adequadamente a habitação – normalmente, apenas pré-aquecendo o ar novo introduzido nos espaços-. Na aplicação do isolamento, também se procura eliminar todas as pontes térmicas que eventualmente possam existir, fazendo uma aplicação contínua por todo o edifício, uma vez que estes locais levam ao aumento do consumo de energia para aquecimento, podendo mesmo originar patologias como condensações. De modo a evitar este tipo de situações, o isolamento térmico deve realizar-se de preferência pelo exterior, de forma a aumentar o tipo de vida útil do edifício, que ficará protegido contra as amplitudes térmicas [100,101].

De forma a exemplificar alguns isolamentos, recorreu-se a uma plataforma *online* [114], que apresenta a espessura recomendada de isolamento para o cumprimento dos requisitos previstos no REH. Para o efeito, analisaram-se as mesmas cidades dos casos de estudo que são estudados na presente dissertação:



Leiria e Évora. Consideraram-se ainda para as cidades, dois tipos de obra: obra nova e reabilitação. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos das simulações realizadas.

Tabela 5 Isolamentos recomendados para cumprir requisitos segundo o REH

<b>Cidade (Zona climática)</b>	<b>Obra Nova</b>			<b>Reabilitado</b>			
	Fachadas isolamento pelo interior	Fachadas isolamento pelo exterior	Coberturas com isolamento pelo exterior	Fachadas com isolamento pelo interior	Fachadas com isolamento pelo exterior	Coberturas com isolamento pelo exterior	Coberturas com isolamento pelo interior
Leiria (I2)	80	80	100	50	50	100	100
Évora (I1)	60	60	80	40	40	80	100

Ao nível do tipo de obra, percebe-se que, nas soluções de fachadas com isolamento pelo interior e exterior, se apresentam espessuras recomendadas mais altas no edifício novo. Verifica-se também, que a cidade de Évora apresenta espessuras inferiores às verificadas em Leiria – devido à zona climática que cada uma pertence. Em Leiria existe maior necessidade de aquecer os edifícios, como tal, a espessura do isolamento deve ser suficiente para impedir que ocorram as perdas térmicas, e consigam, de imediato, suprimir parte das necessidades de aquecimento da habitação.

#### **b) Envidraçados**

As propriedades naturais do vidro permitem a transmissão da radiação solar para o interior – corresponde ao sistema de ganho solar direto mais simples [115] – que quando em demasia, provocam um efeito de estufa no espaço em questão. Posto isto, é fulcral encontrar um equilíbrio entre a quantidade, orientação e propriedades térmicas e óticas dos vãos envidraçados de forma a reduzir as necessidades de aquecimento ou arrefecimento consoante o clima em que o edifício se insere [111]. Para além dos ganhos solares, os vãos envidraçados permitem a ventilação e a iluminação natural [108]. Um aspeto essencial a ter em conta, é o dimensionamento da quantidade de iluminação que se pretende nos vários espaços de um edifício [111]. Deve optar-se por janelas eficientes, isto é, janelas que contribuem para aumentar o isolamento térmico das habitações – através dos materiais utilizados nos caixilhos (alumínio, PVC ou madeira) e tipo de vidro (vidros duplos e perfis isolantes). A adoção deste tipo de janelas, revê-se na redução do valor da fatura da energia, bem como na melhoria do conforto térmico e acústico dos edifícios [116]. A forte incidência do sol nos vidros, pode representar um aumento significativo da temperatura numa habitação, pelo que, no verão é essencial proteger contra a incidência direta do sol, para não causar sobreaquecimento dos espaços [117].

Para exemplificar este tipo de envidraçados e o seu desempenho térmico, recorreu-se a uma plataforma *online* do *IteCons*, [118]. Utilizou-se esta ferramenta, de forma a comparar uma solução corrente e uma solução otimizada.

Na solução corrente, considerou-se caixilharia metálica sem corte térmico, com vidro duplo incolor (4+5 mm) e persianas de réguas metálicas de cor clara. Por sua vez, na solução otimizada, considerou-se vão envidraçado com caixilharia de alumínio com corte térmico e isolante incorporado, com vidro duplo (4+6 mm) e câmara de ar de 16mm e persianas de réguas metálicas de cor clara. Obteve-se assim os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Soluções de Envidraçados: correntes e otimizados

	$U_w(W/(m^2C^o))$	$U_{wdn}(W/(m^2C^o))$	$gT$
<b>Solução corrente</b>	4,50	3,10	0,04
<b>Solução otimizada</b>	2,03	1,79	0,04

Percebe-se que, as duas soluções apresentam o mesmo fator solar global ( $gT$ ), uma vez que se consideraram as mesmas proteções exteriores. Relativamente aos coeficientes de transmissão térmica, verifica-se que é na solução otimizada que se apresenta valores mais baixos. Como tal, conclui-se que, adotar um envidraçado com estas ou outras características eficientes, promovem um desempenho térmico bastante satisfatório.

### c) Proteção Solar

O sombreamento da envolvente de um edifício é uma solução passiva muito eficiente no que toca ao balanço energético e ao espaço ambiental, pois não envolve gastos energéticos. O sombreamento pode ser aplicado exterior ou interiormente ao vão [119]. A utilização de proteções solares é essencial em todos os climas para garantir o bom comportamento térmico das fachadas. O seu dimensionamento deve ter em consideração as alturas – a altura solar é maior no verão e menor no inverno – e azimutes do Sol durante o ano. Por exemplo, uma pala ou estore, deve ser dimensionado de forma a permitir que a radiação incida no vidro na estação de aquecimento e impedir a sua incidência no período de arrefecimento [111]. O sombreamento pode ser feito através de elementos naturais – nomeadamente vegetação (árvores de folha caduca), pela conceção arquitetónica – diferente orientação dos vãos, posição relativa a outras construções, ou pela própria volumetria do edifício – e também por elementos construtivos acessórios – palas metálicas, de betão ou pedra; estores manobráveis [115]. Existem proteções exteriores (Figura 28)– fixas e amovíveis – e interiores (Figura 29). Os primeiros podem tratar-se de palas fixas, no caso de proteção fixa, ou estores, toldos e portadas, que correspondem a soluções amovíveis. Estas últimas ganham vantagem relativamente às soluções fixas, uma vez que protegem a totalidade do envidraçado e são reguláveis. Relativamente às proteções solares interiores – cortinas, portadas, estores interiores- têm a vantagem da facilidade de regulação pelo interior, no entanto são menos eficientes que os dispositivos exteriores. Isto deve-se ao facto de os últimos refletirem melhor a luminosidade e possuírem a ventilação exterior a seu favor [119].

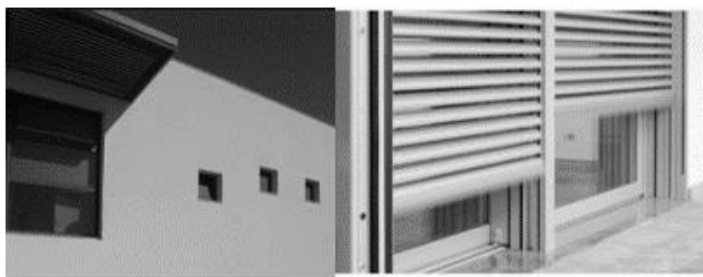


Figura 28 Proteções exteriores: Fixa – Pala Fonte:[120] ; Amovível – réguas metálicas Fonte:[121]



Figura 29 Proteção interior: cortinas cor clara. Fonte:[122]

#### **d) Massa térmica**

A massa térmica, ou os materiais utilizados no armazenamento de calor, são uma parte essencial da arquitetura solar passiva. Materiais como o betão, a alvenaria, o gesso ou até mesmo a água têm a capacidade de absorver o calor durante o dia e libertá-lo lentamente horas depois. Um adequado proveito deste retardamento pode ser útil quando se pretende aquecer um espaço no período noturno [111]. Nos sistemas de ganho indireto, a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o sol e o espaço a aquecer. A radiação absorvida pela massa transforma-se em energia térmica e é transferida para o interior do edifício. É um sistema que controla melhor as oscilações de temperatura e evita sobreaquecimentos, por se tratar de um sistema indireto. Exemplos do armazenamento térmico são as paredes de trombe [115].

As paredes acumuladoras localizadas em fachadas são chamadas de parede de trombe (Figura 30), sendo que estas podem desdobrar-se em parede acumuladora (parede de trombe não ventilada), parede dinâmica, parede de trombe e parede de água [115]. Trata-se de uma parede de grande inércia térmica e como tal, com grande capacidade para armazenar calor. Para além da parede, existe uma caixa de ar e um vidro, para que se forme um espaço altamente aquecido – através da radiação solar que atinge o vidro – aumentando assim a quantidade de calor a ser armazenada pela parede. Esta energia acumulada é depois transferida para a outra face da parede [123]. A grande diferença entre a parede de trombe ventilada e não ventilada é a existência de aberturas de termocirculação na primeira parede. As aberturas aumentam quando o calor durante o dia é mais necessário – ganhos por convecção -. No inverno, durante

o dia, apenas deverão ser abertos os orifícios, quando a temperatura no espaço de ar excede a temperatura do compartimento e seja necessário o aquecimento. Enquanto que durante a noite, estes orifícios devem manter-se fechados. No verão, a parede de trombe pode funcionar como bomba de calor de ar quente, favorecendo a ventilação do edifício [108].

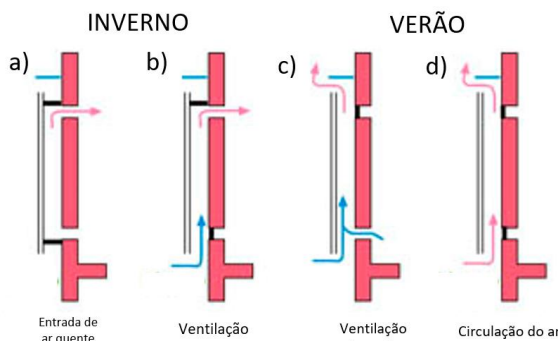


Figura 30 Situações da Parede de Trombe. Adaptado fonte:[124]

#### e) Estanqueidade ao ar (controlo das infiltrações)

A envolvente de um edifício pode causar um grande número de dilemas, particularmente em climas mais frios ou durante os períodos com temperaturas mais baixas [109]. Uma habitação com boa estanqueidade não é necessariamente uma habitação bem isolada. Este parâmetro apesar de ter um impacto muito significativo nos consumos energéticos do edifício, permite evitar danos provocados pela penetração de ar húmido no interior da construção. Se a envolvente do edifício não for suficientemente estanque, o ar húmido pode penetrar no seu interior, mover-se por convecção transportando humidade, podendo condensar e danificar a estrutura. Como tal, estas condicionantes vão refletir-se em custos elevados de reparação que poderiam ser evitados [110]. Para além disso, a infiltração do ar frio, vai aumentar as diferenças de temperatura, aumentando a necessidade de aquecimento do espaço. A norma *Passivhaus*, em muitos climas, exige sistema de ventilação mecânico com recuperação de calor para o fornecimento de ar, sendo que para estes casos, exige-se uma estanqueidade excelente, uma vez que, se a envolvente não se apresentar suficientemente selada, a recuperação de calor não vai funcionar corretamente, levando ao elevado consumo de energia. Em climas moderados, é possível construir uma *Passivhaus* sem sistemas de recuperação de calor, sendo que caso neste caso, a estanqueidade não é tão importante. Na situação em que os edifícios estão bem selados e sem sistemas de ventilação, poderão correr o risco de má qualidade do ar interior e excesso de humidade [101,111]. Nas habitações *Passivhaus* que cumprem o critério de estanqueidade, maximizam a quantidade de ar que passa através da estrutura do edifício sendo possível maximizar a eficiência da recuperação de calor do sistema de ventilação mecânica. Garantida a estanqueidade, a taxa de ventilação pode ser otimizada e controlada até cerca de  $0,4h^{-1}$  [110].

O caudal de infiltrações de ar que penetra no interior de um edifício depende das condições atmosféricas, e também das condições de operacionalidade dos equipamentos instalados no interior dos edifícios. As características do caudal de ar infiltrado podem ser determinadas medindo a quantidade de ar que se infiltra através da envolvente do edifício, que descreve o seu grau de estanqueidade. Os caudais de ar devidos às infiltrações estão, normalmente, compreendidos entre 6 a 10 renovações de ar por hora, com uma diferença de pressão na ordem dos 50 Pa. As medidas que podem ser tomadas, para controlar o caudal de infiltrações, passam por diminuir as diferenças de pressão superficiais, que são responsáveis pelo movimento não desejado do ar. Outro método que pode ser aplicado, é adotar caixilharias que permitam uma melhor vedação das entradas de ar não desejadas. A Tabela 7 apresenta a percentagem de infiltrações através dos diferentes componentes da envolvente, verificando-se que é ao nível das paredes que se verifica maior percentagem da área de infiltrações do edifício [126].

Tabela 7 Percentagem da área de infiltrações do edifício como um todo. Fonte: [126]

Componentes	Percentagem da área de infiltrações do edifício como um todo	
	Variações	Média
Paredes	18-50%	35%
Tipos de teto	3-30%	18%
Sistema de aquecimento (radiadores, por exemplo)	3-28%	18%
Janelas e portas	6-22%	15%
Fogões de sala	0-30%	12%
Ventilação em espaços com ar condicionado	2-12%	5%
Difusão através das paredes	<1%	-

#### f) Ventilação Mecânica com sistema de recuperação de calor

Este parâmetro é abordado com maior pormenor no Capítulo 4. No entanto, pode já ser referido, que este tipo de ventilação é sugerido para edifícios *Passivhaus*, na medida em que, o calor retirado do ar de extração, é recuperado e permite cessar grande parte ou mesmo a totalidade das necessidades de energia do edifício, apenas com o calor residual [127].



Legenda:

1. Coletores solares;
2. Isolamento otimizado;
3. Envidraçados eficientes;
4. Ventilação geotérmica;
5. Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor.

Figura 31 Representação da habitação Passivhaus: Fonte:[110]

De forma a aprofundar o conhecimento sobre os sistemas solares passivos, C. Barreiro [108], desenvolveu um estudo acerca da avaliação da integração dos sistemas passivos em edifícios. Percebeu que, através da introdução de sistemas passivos é possível reduzir as necessidades energéticas nos edifícios e aumentar o conforto. No edifício referente ao caso de estudo, procedeu à inclusão de paredes de trombe ventiladas, realizou a alteração dos vãos envidraçados e introduziu elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre vãos envidraçados orientados a Sul. Os resultados foram bastante satisfatórios, sendo que, houve uma redução das necessidades energéticas para aquecimento em quase 40% e das necessidades de arrefecimento em cerca de 19%. Um estudo semelhante realizado por N. Brandão [110], permitiu verificar que é possível cumprir, em Portugal, os limites de necessidades de energia útil estabelecidos pela norma *Passivhaus*, desde que sejam cumpridos os seus padrões e com um nível de isolamento adequado. Verificou também que as pontes térmicas têm um peso bastante significativo na determinação das necessidades energéticas dos edifícios, salientando a importância da sua correção, bem como a estanqueidade de um edifício, que como tal, não deve ser desprezível.

Ao contrário do que acontece nos sistemas ativos, neste capítulo, o mais apropriado é analisar as vantagens e inconvenientes das soluções passivas de aquecimento<sup>17</sup> (Tabela 8)– ganho direto e indireto. Esta opção é tomada, uma vez que a existir vantagens e inconvenientes, estas estão presentes em cada solução apresentada, não existindo conteúdo válido para se considerarem ameaças ou mesmo oportunidades. Não se consideram os ganhos isolados, uma vez que não foram abordadas as soluções das mesmas, na presente dissertação.

<sup>17</sup> São apenas analisadas as vantagens e desvantagens das soluções de aquecimento, como forma de simplificação e também porque em Portugal, existe uma maior necessidade de aquecer os edifícios do que arrefecer.

Tabela 8 Lista das vantagens e inconvenientes das soluções passivas Fonte:[103,109]

VANTAGENS	INCONVENIENTES
<p><b>Ganho direto:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Maior rendimento energético;</li> <li>2. Sistemas construtivamente mais baratos – utiliza os materiais e sistemas construtivos comuns-;</li> <li>3. Superfície vidrada – iluminação e visibilidade para o exterior;</li> <li>4. Princípio de funcionamento do sistema simples – exceto na determinação da oscilação da temperatura dentro do edifício;</li> <li>5. Flexibilidade na conceção arquitetónica.</li> </ol> <p><b>Ganho indireto:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proporcionam calor durante o dia (convecção) e durante a noite (radiação);</li> <li>2. Controle mais rigoroso da quantidade de calor cedida;</li> <li>3. Aquecem no inverno e arrefecem no verão;</li> <li>4. Evitam problemas de degradação.</li> </ol>	<p><b>Ganho direto:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superfície vidrada – falta de privacidade e iluminação excessiva;</li> <li>2. Radiação solar direta – degradação e descoloração dos materiais do interior; assimetrias na temperatura radiante;</li> <li>3. Necessidade de orientação solar favorável (Sul) para os envidraçados;</li> <li>4. Tendência dos ocupantes para fechar os sistemas de oclusão, que impede os ganhos solares;</li> <li>5. Prever a quantidade de massa de armazenamento – evitar sobreaquecimentos; oscilação máxima de temperaturas não deverá ultrapassar os 6°C;</li> <li>6. Grandes superfícies de captação – aumento do custo do sistema: pelos envidraçados, massa térmica adicional e isolamento térmico.</li> </ol> <p><b>Ganho indireto:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paredes de armazenamento térmico orientadas a sul;</li> <li>2. Perdas térmicas noturnas elevadas;</li> <li>3. Paredes de armazenamento térmico – ocupam espaço habitável e incrementam peso ao edifício, impedem a vista para o exterior.</li> </ol>

Em relação ao arrefecimento passivo, os sistemas são mais diversificados, recorrendo a maior parte das vezes à água, vento ou ar. O grande desafio dos sistemas de arrefecimento ainda é conseguir técnicas que impeçam efetivamente o aquecimento através do sol [108].

## 4. VENTILAÇÃO

O bem-estar dos ocupantes também passa pela qualidade do ar interior onde estão inseridos. Para suprimir esta necessidade, começaram a emergir sistemas de ventilação eficazes, capazes de resolver problemas como a qualidade do ar interior, conforto, saúde, segurança e também degradação dos edifícios. Inicialmente recorria-se à ventilação natural com o objetivo de redirecionar os gases libertados pela combustão para o exterior, e para remover os odores. No entanto, para assegurar o conforto e a poupança energética, tornou-se a envolvente cada vez mais estanque ao ar, que resultou numa má qualidade do ar interior e acumulação de poluentes, levando a problemas de saúde dos ocupantes [127]. A construção de um edifício nos dias de hoje é mais rigorosa do que há 50 anos atrás, no entanto, o número de poluentes no edifício cresceu, como tal é fulcral a utilização de mecanismos eficientes que conduzam a um ambiente saudável no interior dos edifícios através da renovação do ar [128]. O fenómeno de ventilação trata-se assim da troca existente de ar viciado e poluído por ar fresco, relativamente limpo e normalmente proveniente do exterior. Esta troca pode até ocorrer acidentalmente – através de frinchas existentes na envolvente – ou de forma forçada – sistemas concebidos para o efeito- [129].

Os sistemas de ventilação evoluíram bastante, por exemplo, com a introdução de métodos de ventilação mecânica que se podem associar com sistemas de ventilação natural. No entanto, com a evolução verificada, o consumo energético também aumentou [127]. Existem essencialmente três tipos de ventilação: natural, mecânica e híbrida.

### 4.1. Ventilação Natural

Os sistemas de ventilação natural são muito variáveis no tempo e no espaço, o que dificulta o controlo das taxas de ventilação do edifício. São caracterizados de forma genérica em sistemas com ventilação controlada e não controlada [129]. Apresenta-se na Figura 32 um exemplo de ventilação natural.

- Ventilação não controlada: a admissão e a extração ocorrem através de fendas e frinchas na habitação. É um tipo de ventilação considerado acidental e como tal, dificilmente controlada. A melhoria do isolamento térmico na envolvente, traduz-se numa maior estanqueidade do edifício, e como tal, dificulta este tipo de ventilação[113,114];
- Infiltrações através de aberturas nas fachadas – sistema semelhante ao anterior, com a diferença de que as aberturas nas fachadas são colocadas propositadamente. De forma a corrigir o fenómeno que a estanqueidade provoca, são instaladas grelhas – reguláveis<sup>18</sup> e autorreguláveis<sup>19</sup>; Podem aqui ser distinguidos dois tipos de ventilação:

---

<sup>18</sup> Tratam-se de aberturas estáveis, como tal não permite a regulação do caudal em função das condições interiores e exteriores; uma hipótese é a alteração da sua área útil.

<sup>19</sup> Controla o caudal de infiltrações, fechando automaticamente sempre que o diferencial é negativo e ajustando a área útil de passagem, sempre que o diferencial é positivo.



- Ventilação cruzada – várias grelhas em fachadas opostas, em que se aproveita o potencial do gradiente de pressões que podem existir entre fachadas;
- Ventilação unilateral – na existência de uma só fachada disponível, as grelhas deverão ser todas aí colocadas; trata-se de um sistema de difícil ventilação; devem ser colocadas duas aberturas afastadas e elementos arquitetónicos que induzam melhor a ventilação natural [129];
- Ventilação assistida por condutas verticais – adiciona-se aos dispositivos descritos anteriormente (grelhas) condutas verticais. As condutas incrementam a extração do ar do interior do edifício devido ao efeito chaminé<sup>20</sup>. O ar novo entra nos compartimentos principais – quartos e salas – através das aberturas na fachada. Apesar de não existir controlo dos caudais, as aberturas e condutas são dimensionadas para garantir um caudal médio de ventilação [121-122].

Quando projetada de forma adequada, a ventilação natural permite a redução dos custos operacionais do edifício, no entanto, o sistema passivo apresenta algumas desvantagens, nomeadamente o controlo do fluxo de ar e dependência das condições térmicas. Caso estes problemas coloquem em causa a qualidade do ar interior e bem-estar dos ocupantes, é recomendada a utilização de ventilação mecânica [130].

O Decreto Lei 80/2007 de 4 de abril estabeleceu objetivos de provisão de taxas de renovação de ar interior adequadas, para a garantia de uma qualidade do ar aceitável. São valores que os projetistas devem obrigatoriamente satisfazer. Assim, a taxa de renovação nominal para a ventilação natural, especifica que se o edifício estiver em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, o valor a adotar será  $R_{ph}=0,6h^{-1}$  [131].

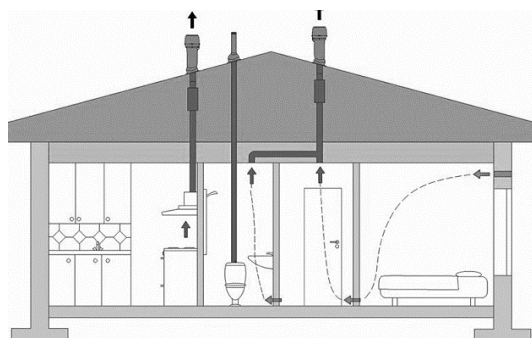


Figura 32 Ventilação natural: aberturas na envolvente e condutas de extração cozinha e casa de banho.  
Fonte:[132]

<sup>20</sup> As 'chaminés' são parte integrante da construção e servem para remover o ar das zonas húmidas -cozinhas e casas de banho-.

## 4.2. Ventilação Mecânica

Com a evolução da tecnologia, os sistemas de ventilação mecânica ganharam o seu lugar no mercado. Neste tipo de sistemas, a circulação do ar é forçada através de ventiladores ou exaustores que permitem regular o seu caudal, independentemente das condições do vento e temperatura exterior [130]. Existem dois tipos de ventilação mecânica: insuflação e extração. Na insuflação mecânica utiliza-se um ventilador para que a habitação fique pressurizada, e o fluxo de ar saia através das frinchas ou dispositivos próprios. Devido à pressão positiva existente, dentro da habitação não existem infiltrações. Por sua vez, na extração mecânica, o sistema provoca uma depressão – pressão negativa – na habitação. Normalmente é colocado nas zonas de concentração de poluentes – cozinhas e casas de banho. Em habitações tecnologicamente mais avançadas, é possível conjugar ventiladores de insuflação e extração, totalmente independentes. Neste caso poderá ocorrer a existência de infiltrações, dado que os caudais de insuflação e extração são idênticos. Para que isso não aconteça, a diferença de caudais tem que ser significativa, de modo a que haja pressurização no local [133]. Existe ainda os sistemas mecânicos com recuperador de calor (Figura 33). As perdas por ventilação são responsáveis por uma componente significativa de todas as perdas de calor num edifício de baixa eficiência energética. A única forma de reduzir estas perdas mantendo a qualidade do ar interior, é recuperar algum do calor perdido. A forma mais comum e simples de fazer a ventilação do edifício passa por abrir as janelas – ventilação natural – no entanto este tipo de ação realizada no inverno, leva a que todo o calor do edifício se perca [109]. Para contrariar esta situação, recorre-se ao sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (VMRC). O funcionamento deste sistema passa pela instalação de uma unidade de recuperação de calor com permutadores cruzados, que permite recuperar calor do ar de extração – apesar de se tratar de uma reduzida quantidade de energia recuperada, o edifício passivo acaba por não apresentar tanta necessidade de energia, como tal as necessidades conseguem ser colmatadas com a quantidade de calor residual – e garante a recuperação sem haver mistura de fluxos. Como tal, durante o inverno é feito um pré-aquecimento através da mistura do ar exterior com o ar recuperado, reduzindo as necessidades de aquecimento através da correção de temperatura e humidade. No verão, este sistema, permite apenas a entrada direta do escoamento de ar [128]. A eficiência do permutador pode variar entre 75% e 95% dependendo do tamanho do permutador. De forma a garantir uma elevada qualidade do ar interior, recorre-se a uma estratégia de ventilação cruzada<sup>21</sup>. Na Europa Central é possível recorrer a soluções de aquecimento através de micro-bombas de calor – geotermia<sup>22</sup>. A micro-bomba de calor extrai o calor proveniente do ar de extração para em seguida cedê-lo a um depósito de água quente sanitária que armazena e disponibiliza água para uso sanitário [110]. As desvantagens que o VMRC apresenta têm a ver com condensações, formação de gelo e geada que podem ocorrer no permutador de calor ou ainda a queda de pressão para o fluxo de ar num permutador de calor [128].

---

<sup>21</sup> Consiste em insuflar ar novo nas principais áreas de ocupação, sendo depois extraído pelas zonas onde a qualidade do ar interior é mais baixa – cozinhas e casas de banho -.

Apesar do sistema mecânico apresentar grandes vantagens, este exige um grande consumo de energia elétrica. Como tal, é essencial utilizar esta tecnologia como um complemento da ventilação natural. Com base nesta premissa, desenvolveu-se outra técnica de ventilação que permite a minimização do consumo de energia através da utilização de um sistema inteligente que ativa a ventilação mecânica sempre que a ventilação natural se revelar inadequada e insuficiente para satisfazer as necessidades do edifício: a ventilação híbrida [130].

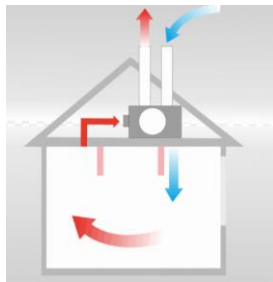


Figura 33 Ventilação mecânica com recuperação de calor. Fonte: [133]

#### 4.3. Ventilação Híbrida

O desenvolvimento da ventilação híbrida emergiu para colmatar o elevado consumo energético que o sistema mecânico requer. Como referido anteriormente, é a conjugação da ventilação mecânica com a natural, atribuindo sempre prioridade à última.

O seu funcionamento assenta na operacionalidade de ventiladores mecânicos de baixa pressão e baixa potência, programados para o funcionamento automático, caso as condições naturais não sejam suficientes para assegurar os caudais de ventilação mínimos [127]. A verificação dos sistemas até agora descritos, permite verificar que estes se podem tornar inapropriados do ponto de vista energético quando a temperatura do ar exterior estiver demasiado afastada da temperatura ideal de conforto. As perdas ou ganhos de calor provocadas pela renovação do ar interior podem ser significativas, obrigando a um maior consumo de energia para retomar a temperatura interior pretendida [130]. Surgem assim, outros sistemas de ventilação, que utilizam energias renováveis como os sistemas de ventilação geotérmica (SVG) apresentados de seguida.

#### 4.4. Sistemas de Ventilação Geotérmica – solução alternativa e eficiente

Os SVG utilizam a energia geotérmica<sup>23</sup>, energia essa que apresenta elevadas potencialidades e benefícios para a redução de emissões e do consumo energético. Para além disso, este tipo de sistema

<sup>22</sup> Sistema analisado com mais pormenor no capítulo seguinte – Ventilação.

<sup>23</sup> A fonte de energia utilizada é a geotérmica – energia armazenada sob a forma de calor debaixo da superfície terrestre. A energia existente nas camadas mais superficiais da Terra tem maioritariamente origem no calor radiado pelo sol que é absorvido e acumulado pelo solo aproximadamente até 4 metros de profundidade [130].

pode contribuir para a redução da dependência de sistemas artificiais para o conforto térmico. Trata-se assim, de uma estratégia que permite auxiliar a climatização passiva, tirando proveito da temperatura do subsolo próximo da superfície, pelo uso de condutores de ar subterrâneos, que pré-aquecem e pré-arrefecem o ambiente no inverno e no verão, respetivamente [134]. As condições para a sua viabilidade são [115,117]:

- boa inércia – volume de armazenamento do solo – e bom isolamento dos edifícios;
- grande diferença de temperatura entre o solo e o ambiente;
- tipo de solo – quanto mais húmido, maior condutibilidade térmica, logo mais eficiente.

#### 4.4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O SVG (Figura 34) é constituído por um circuito de tubagens – de plástico, betão ou metálicos – enterradas a cerca de dois metros de profundidade, através do qual, é forçada a circulação do ar proveniente da superfície. A entrada do ar é feita através de uma ‘torre’, que contém um sistema de pré-filtragem, que impede que as partículas suspensas no ar exterior se depositem no interior das tubagens enterradas. Ao longo deste circuito ocorrem trocas de calor entre o solo e o ar, que é posteriormente conduzido até ao interior do edifício. Podem verificar-se duas situações; no verão, o ar ambiente encontra-se a uma temperatura superior à do solo, como tal, verifica-se o seu arrefecimento na passagem pelas condutas. Por sua vez, no inverno, ocorre a situação inversa, que resulta na temperatura do ar, à saída das tubagens, superior à de entrada[115,118].

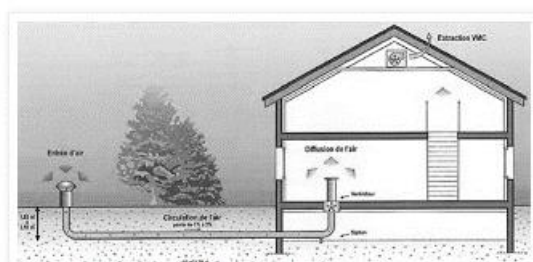


Figura 34 Sistema de ventilação geotérmica. Fonte: [136]

##### 4.4.1.1. Unidades de apoio

De forma a assegurar o correto funcionamento dos sistemas, pode recorrer-se a alguns equipamentos de apoio, nomeadamente bombas de calor e unidades recuperadoras de calor[135]. A bomba de calor (Figura 35) é um equipamento termodinâmico, que promove a circulação de um fluído refrigerante pelos tubos, proporcionando a climatização, sendo que após circular pelo sistema, o fluído retorna à base,

repetindo-se o processo. Este recurso, requer a utilização de energia elétrica, porém, consegue resultar numa redução de 30% do consumo energético, quando comparado com sistemas artificiais [134]. Os recuperadores de calor (Figura 36) são adicionados ao sistema SVG, através de fluxos cruzados que promovem a transferência de calor e de humidade entre o ar extraído do edifício e o ar fresco exterior, sem a transmissão indesejada de microrganismos. Este dispositivo permite uma redução da energia necessária para o aquecimento do edifício durante o inverno, bem como o controlo da humidade relativa do ar no seu interior [130]. A utilização do recuperador de calor permite recuperar cerca de 60% do calor que seria perdido num sistema de ventilação mecânica, permitindo economizar cerca de 40% do consumo de energia no equipamento[137].



Figura 35 Bomba de calor geotérmica. Adaptado fonte:[138], [139]

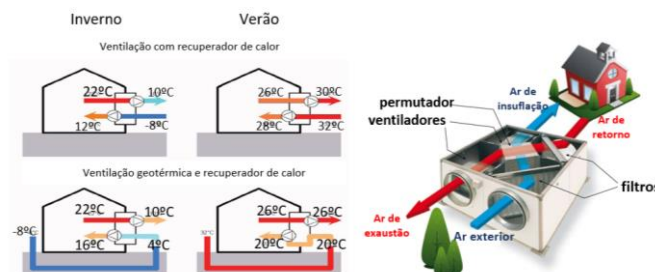


Figura 36 Esquema de ventilação geotérmica com recuperador de calor. Adaptado Fonte:[122,123]

Foi realizada uma análise SWOT dos sistemas que se parecem mais eficientes, tendo em conta os conhecimentos adquiridos anteriormente. Como tal, no Anexo C, apresenta-se a análise ao sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor (VMRC) e sistema de ventilação geotérmico (SVG) [116, 119, 122, 127, 128, 142].

## 5. CASO DE ESTUDO

Para a aplicação dos conhecimentos adquiridos, optou-se por analisar dois contextos diferentes, que se consideram importantes de avaliar, na medida em que, tanto um como outro, são atualmente solicitados. O primeiro contexto diz respeito ao projeto de reabilitação de um edifício antigo típico português, recuperando as soluções de base, através de um certificado energético com classe baixa. O segundo contexto corresponde ao projeto de um edifício novo, em que são introduzidas as soluções construtivas utilizadas atualmente. De forma a obter um leque mais vasto de situações, a habitação unifamiliar que se pretendeu reabilitar encontra-se em Leiria e o edifício novo, pretende-se que se construa em Évora. Recorreu-se ao programa de cálculo *IteCons* [141], que auxilia no processo de escolha e avaliação das soluções e sistemas, que efetivamente resultam na maior eficiência.

### 5.1. Descrição do Edifício

O edifício selecionado para o estudo, trata-se de uma moradia unifamiliar. Esta moradia é de tipologia T4 e é constituída por dois pisos e uma garagem. Os desenhos da arquitetura do edifício, nomeadamente as plantas e alçados, bem como o levantamento dimensional de todos os elementos do edifício, encontram-se nos Anexos D e E, respetivamente. No entanto, a Tabela 9 apresenta um resumo da informação mais relevante do edifício.

Tabela 9 Área dos elementos construtivos e comprimento total das pontes térmicas lineares exteriores

Elemento construtivo	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes exteriores	171,29
Paredes interiores	123,54
Parede interior que contacta com zona não útil	28,50
Coberturas	163,26
Varandas	17,74
Pavimento térreo (tijoleira)	30,88
Pavimento térreo (soalho)	78,3
Pavimento interior (tijoleira)	16,4
Pavimento interior (soalho)	87,4
Pavimento interior que contacta com zona não útil	34,80
Área útil dos compartimentos	76,01
Área dos envidraçados	208,74
Pontes térmicas lineares exteriores - comprimento (metros)	348,79

### 5.2. Caso de Estudo 1 – Reabilitação

Neste caso de estudo, pretendeu-se a reabilitação do edifício, utilizando a informação disponibilizada num certificado energético com classificação de eficiência energética baixa [142], relativamente às soluções construtivas, como soluções de base desta moradia. Tal como referido, a cidade escolhida para esta análise foi Leiria – cidade mencionada no certificado energético. Como se trata de um edifício

antigo, as soluções dos elementos construtivos não aparentavam ser eficientes. Por exemplo, a solução construtiva das paredes exteriores, não apresentava isolamento térmico, pelo que, não é favorável no caso das pontes térmicas lineares, devido às trocas existentes que podem ocorrer entre o ambiente interno e externo. Para além das soluções não apresentarem um nível razoável de eficiência, esta habitação não apresenta qualquer tipo de sistema de climatização nem preparação de AQS. Pretendeu-se assim, numa primeira abordagem, analisar uma solução de reabilitação as soluções construtivas do edifício, ao nível da cobertura, das paredes exteriores, pavimentos interiores e vãos envidraçados – aplicação de soluções passivas. Com base nos resultados obtidos, foram analisadas as necessidades de energia úteis, verificando-se quais as melhores soluções ativas que poderiam resultar num aumento da eficiência energética e se possível, simultaneamente, nas reduções da fatura energética. De forma a ter um leque mais abrangente de soluções, consideram-se na fase de simulação das soluções ativas, dois contextos. O primeiro considerou que a habitação não possuía pré-instalação de aquecimento central, admitindo-se, no segundo caso, a sua existência.

### 5.2.1. Dados Climáticos de Leiria

A Tabela 10 apresenta os dados climáticos referentes à cidade de Leiria. Estes valores foram automaticamente referidos pela plataforma IteCons, à exceção da altitude.

Tabela 10 Dados climáticos de Leiria

Descrição	Valor
Altitude	105 metros
Graus-dias (18°C)	1283
Temperatura média exterior (I/V)	9,7°C/20,1°C
Zona climática de inverno	I1
Zona climática de verão	V2
Duração da estação de aquecimento	6,6 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses

### 5.2.2. Introdução das soluções dos elementos construtivos no programa IteCons e Classe energética inicial

As soluções construtivas dos elementos opacos e vãos envidraçados, foram introduzidos de forma agrupada de acordo com a envolvente a que pertencem. Começou-se por colocar os elementos da envolvente exterior, que tal como o nome indica, são os elementos pertencentes ao edifício, mas que se encontram em contacto com o exterior – cobertura, paredes exteriores, pavimentos exteriores, pontes térmicas lineares e vãos envidraçados. De seguida, foram colocadas as soluções pertencentes à envolvente interior, que correspondem aos elementos (paredes e pavimentos) que contactam com a zona não útil da habitação – neste caso, a garagem. As soluções dos elementos construtivos e vãos envidraçados, apresentam-se na Tabela 11 e Tabela 12, respetivamente. A habitação ficou avaliada com

a classe de eficiência energética D, com necessidades de energia úteis superiores às necessidades de referência, como se apresenta na Tabela 13.

Tabela 11 Descrição das soluções dos elementos construtivos e respetivo coeficiente de transmissão térmica

<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Descrição da Solução</b>	<b>U Solução</b>
Parede Exterior	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia (posterior a 1960), com uma espessura total da parede de 34cm	1,10
Parede interior 1	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia (posterior a 1960), com uma espessura total da parede de 18cm	1,47
Parede interior 2	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia (posterior a 1960), com uma espessura total da parede de 34cm.	1,00
Coberturas	Cobertura interior pesada horizontal, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso e areia.	2,25
Pavimentos	Pavimento interior pesado, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso e areia.	2,21

Tabela 12 Descrição das soluções dos vãos envidraçados e respetivo coeficiente de transmissão térmica, fator solar do vidro e fator solar global

<b>Descrição</b>	<b>U Solução</b>	<b>Fator solar do vidro</b>	<b>Fator solar global</b>
- Caixilharia metálica sem corte de abrir, vão simples, sem quadrícula, vidro simples incolor (Oeste e Este) e fosco (Norte e Sul) com 5mm de espessura, proteção solar em estore de réguas metálicas ou plásticas pelo exterior de cor clara. Caixilharia sem classificação de permeabilidade ao ar.	3,90	0,85	0,07
- Caixilharia de madeira fixo, vão simples, sem quadrícula, vidro simples fosco (Este), com 5 mm de espessura, sem proteção solar. Caixilharia sem classificação de permeabilidade ao ar.	5,10	0,85	0,85

Tabela 13 Necessidades iniciais de energia úteis de aquecimento e arrefecimento do edifício

<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>
<b>Nic</b> - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	136,50	67,24
<b>Nvc</b> - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	11,67	7,24

### 5.2.3. Alteração das soluções construtivas – soluções passivas- e satisfação das necessidades de ventilação

Posteriormente, procedeu-se à alteração das soluções construtivas iniciais, otimizando o seu comportamento térmico. Estas alterações visaram a melhoria do desempenho energético do edifício. Como tal, antes de adotar qualquer sistema técnico de climatização e AQS, foram aplicadas soluções passivas, como descrito na Tabela 14.



Tabela 14 Descrição das medidas de melhoria aplicadas às soluções construtivas e vãos envidraçados

Medidas Passivas	Elemento Construtivo	Descrição da Solução	U Novo
<b>Medida 1</b>	Cobertura exterior: Aplicação de teto falso com isolamento térmico.	Aplicação de isolamento térmico em lâ mineral de rocha com 5cm de espessura e gesso cartonado com 13mm de espessura. Aplicado sob a laje horizontal interior com caixa de ar de 10cm.	U ascendente = 0,52 U descendente = 0,51
<b>Medida 2</b>	Paredes exteriores: Aplicação de isolamento pelo exterior com revestimento aplicado sobre o isolante. (ETICS)	Aplicação de isolamento térmico em poliestireno expandido tipo capoto com 5cm de espessura a aplicar pelo exterior das paredes de fachada.	0,46
<b>Medida 3</b>	Pavimento interior: Aplicação de isolamento sob a laje de pavimento.	Aplicação de isolamento térmico em espuma de poliuretano projetado com 5cm de espessura a aplicar sob a laje aligeirada.	0,61
<b>Medida 4</b>	Vãos envidraçados: Substituição de vãos envidraçados existentes por novos vãos com melhor desempenho energético.	Aplicação de caixilharia de PVC, sem classificação, com vidro de 16mm de caixa de ar e mantendo os dispositivos de baixa permeabilidade.	Vão com proteção solar: 2,10 Vão sem proteção solar: 2,70

Ainda antes de aplicar qualquer tipo de melhoria ativa, foi necessário verificar as condições de ventilação do edifício. O certificado indica que esta é feita por ventilação natural, no entanto não cumpre a NP 1037-1 – Requisito mínimo  $R_{ph}^{-1}=0,6$ . Foi essencial, inicialmente, verificar esta situação, uma vez que, a opção tomada poderia interferir nas necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício. Para além disso, o presente caso de estudo, permitiu verificar dois dos seis princípios básicos fundamentais na construção Passivhaus [108]: o isolamento otimizado e a estanqueidade. Inicialmente procedeu-se à introdução de melhorias passivas, implementando o isolamento, para evitar as perdas térmicas e assim reduzir as necessidades de aquecimento. Contudo, o isolamento das paredes exteriores, deixou a envolvente totalmente estanque. A estanqueidade da envolvente de um edifício que não possui qualquer tipo de sistema de ventilação, resulta na má qualidade do ar interior e excesso de humidade [108]. Como tal, foi necessário clarificar e fazer cumprir os requisitos mínimos de ventilação.

Recorreu-se assim, ao método de cálculo, incorporado na Plataforma utilizada, de acordo com a *EN 15242* e *Despacho 15793-K*, que têm em atenção o enquadramento do edifício – tipo de edifício, concelho, altitude, etc. – e que também permite verificar a permeabilidade ao ar da envolvente através dos vãos envidraçados. Consideraram-se assim duas soluções. A primeira solução diz respeito às aberturas de admissão autorreguláveis na envolvente e grelhas de ventilação natural (condutas de exaustão) para os compartimentos que não têm janelas. A segunda correspondeu à instalação de ventilação mecânica com recuperador de calor. Na análise de resultados, pode verificar-se a aplicação de cada uma e os resultados obtidos. No entanto, dever-se-ia considerar o fator custo e eficiência, e como tal, a análise de resultados foi também realizada nesse sentido. De seguida, apresentou-se a análise

das necessidades de energia úteis do edifício, de forma a proceder à determinação dos sistemas técnicos mais eficientes.

#### **5.2.4. Instalação do sistema de águas quentes sanitárias**

Nesta secção pretendeu-se apresentar a simulação de duas situações possíveis para a preparação de águas quentes sanitárias. A primeira, foi a utilização de um termossifão, que contivesse uma resistência elétrica incorporada no depósito acumulador, para auxiliar o aquecimento das águas nos períodos em que a radiação solar não é suficiente. A segunda diz respeito ao equipamento mais utilizado a nível nacional: esquentador a gás natural, como equipamento de apoio ao termossifão (sem resistência elétrica). Esta solução consiste num esquentador atmosférico, de exaustão natural, que se pretende que seja solicitado sempre que as condições atmosféricas não permitam o funcionamento eficaz do sistema solar térmico, atuando assim como sistema de apoio, apto para servir, sempre que necessário, durante todo o ano. No Anexo F apresenta-se o dimensionamento do painel solar térmico.

Ainda sobre a instalação do sistema de preparação AQS, é importante ter em atenção que, para além das reduções que o sistema solar térmico apresenta na fatura energética, este não contribui com a totalidade da preparação de AQS. Para os dias de céu muito nublado ou mesmo quando a radiação solar não é suficiente para atingir a temperatura da água desejada, é necessário que o equipamento de apoio esteja apto a ser utilizado, sempre que necessário. Como tal, tornou-se relevante verificar os custos anuais que ocorrem com a utilização da resistência elétrica e também com o esquentador a gás natural. Relativamente à resistência elétrica, admitiu-se um cenário de tarifa bi- horária, sendo que esta deveria funcionar apenas nas horas de vazio<sup>24</sup>. Considerou-se que o custo por kWh nas horas de vazio, para uma resistência elétrica de 2 kW, é de 0,1014 € [143].

#### **5.2.5. Simulação dos sistemas ativos para aquecimento**

O cumprimento dos requisitos de renovação de ar é fulcral para perceber as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício. Como tal, a simulação de sistemas ativos só pode ser realizada após a verificação do cumprimento destes requisitos. Analisando os resultados da implementação de soluções passivas para melhoria dos elementos construtivos – apresentados na análise de resultados-, verificou-se que as necessidades de aquecimento do edifício são cerca de dez vezes superiores às necessidades de arrefecimento. Analisaram-se assim dois equipamentos distintos. O primeiro consistiu numa caldeira a gás natural para aquecimento, por se tratar do equipamento mais solicitado a nível nacional para colmatar estas necessidades. Através desta simulação pretendeu-se verificar a sua eficiência enquanto equipamento exclusivo para aquecimento. O segundo equipamento simulado, recorre a um sistema totalmente elétrico – *multi-split*/ bomba de calor ar-ar. Dada a dimensão do edifício, consideraram-se quatro unidades interiores. Verificou-se que o equipamento que colmata maiores necessidades anuais é

---

<sup>24</sup> As horas de vazio correspondem às horas de menor consumo e, portanto, valores mais baixos: das 22h às 8h [150].

a caldeira para aquecimento central – cerca de 26,38 kWh/m<sup>2</sup>ano a mais do que o *multi-split*. Assim, a caldeira para aquecimento central, apresenta-se com melhor desempenho energético do que o sistema elétrico, que se reflete na classe A de eficiência energética.

#### 5.2.6. Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria

Até ao momento, as soluções abordadas para proposta reabilitação do edifício, foram ao nível das soluções passivas dos elementos construtivos, do cumprimento dos requisitos de ventilação<sup>25</sup>, e de sistemas AQS<sup>26</sup> e aquecimento. Verificou-se que até agora, em termos de aquecimento e arrefecimento, o edifício analisado apresentava necessidades nominais de energia inferiores às necessidades de um edifício de referência. No entanto, verificou-se existir, no âmbito das necessidades de aquecimento, algum potencial de melhoria. Como tal, nesta secção apresentam-se dez medidas que se pretenderam verificar se realmente contribuem para a melhoria do comportamento energético do edifício.

Dividiram-se estas soluções em dois grupos, considerando dois cenários diferentes, para assim avaliar um maior leque de soluções. No primeiro grupo, consideraram-se as soluções que não requerem instalação de aquecimento central:

- a) Sistema combinado: um equipamento que produz energia elétrica – conjunto de seis painéis fotovoltaicos (com e sem autoconsumo) – e equipamento elétrico – sistema *multi-split*;
- b) Salamandra a biomassa.

O segundo grupo, que por sua vez considera que a habitação já possui pré-instalação de aquecimento central, consistiu nas seguintes soluções:

- a) Sistema combinado: sistema solar térmico e caldeira a gás natural;
- b) Salamandra a biomassa com distribuição de calor;
- c) Bomba de calor ar/ água com depósito integrado;
- d) Solução híbrida: caldeira a gás natural e bomba de calor ar/água;
- e) Caldeira a biomassa com sistema solar térmico;
- f) Bomba de calor água/água com funções de AQS e aquecimento;
- g) Bomba de calor água/água com função de aquecimento.

Veja-se que foram invocados cenários que até aqui não tinham sido referidos. A primeira solução utiliza a energia solar fotovoltaica, através de seis painéis fotovoltaicos (PV). Esta medida, permitiu verificar se realmente, o custo de investimento em painéis fotovoltaicos vale o benefício da sua utilização. As soluções b) e e) do primeiro e segundo grupo, respetivamente, utilizam a biomassa como fonte de energia renovável para o aquecimento. Na primeira solução do segundo grupo, recorreu-se ao sistema

---

<sup>25</sup> Admitem-se aberturas de admissão na envolvente, através dos caixilhos e parede e grelhas de ventilação natural (condutas de exaustão).

<sup>26</sup> Utilização do sistema termossifão e esquentador como equipamento de apoio, para dar continuidade às restantes simulações.

combinado da caldeira com o sistema solar térmico, com as finalidades de preparação de AQS e aquecimento. Com esta medida, procurou-se saber se é mais vantajosa a utilização do sistema combinado ou, segundo a preferência nacional, a caldeira é um equipamento mais eficiente, somente para aquecimento. As soluções c) e d) pretenderam verificar a eficiência da bomba de calor ar-água, através de sistemas combinados, para preparação de AQS e aquecimento, sendo, segundo empresas qualificadas, soluções que garantem a eficiência energética em edifícios novos e reabilitações. As duas últimas soluções correspondem às bombas de calor utilizadas na geotermia. Atualmente, estas soluções possuem um custo de investimento elevado, no entanto, pretendeu-se verificar se a sua eficiência pode compensar a longo prazo.

### 5.3. Caso de Estudo 2 – Projeto de Edifício Novo

No presente caso de estudo, ao contrário do que aconteceu no edifício para reabilitação, introduziram-se soluções construtivas otimizadas, que permitam uma classe de eficiência energética inicial satisfatória. O edifício novo, pretendeu-se que fosse construído em Évora, por se tratar de um dos locais com temperaturas mais elevadas em Portugal. Assim, existiria a possibilidade de verificar e avaliar outro tipo de equipamentos, nomeadamente com a função de arrefecimento.

#### 5.3.1. Dados climáticos de Évora

A Tabela 15 apresenta dos dados climáticos de Évora. Estes valores são automaticamente referidos pela plataforma IteCons, à exceção da altitude.

Tabela 15 Dados climáticos de Évora

Descrição	Valor
Altitude	230 metros
Graus-dias (18°C)	1160
Temperatura média exterior (I/V)	10°C/24,3°C
Zona climática de inverno	I1
Zona climática de verão	V3
Duração da estação de aquecimento	5,3 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses

#### 5.3.2. Introdução das soluções construtivas e classe energética inicial

Neste caso de estudo, ao contrário do que aconteceu no projeto de reabilitação, optou-se por adotar soluções construtivas utilizadas atualmente. Como tal, foram soluções que apresentavam coeficientes de transmissão térmica mais baixos, que se repercutiram na classe de eficiência energética. As soluções construtivas, bem como os valores de desempenho térmico, nomeadamente a resistência térmica e o coeficiente de transmissão térmica, encontram-se devidamente descritos no Anexo G. Também neste anexo, se encontra o cálculo da inércia térmica. Para a determinação destes parâmetros, seguiu-se o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013[144]. Verificou-se que, com as soluções construtivas escolhidas

para o edifício novo, a habitação ficou avaliada com uma inércia térmica forte ( $I_t=476,93$ ). No entanto, apresenta-se na Tabela 16, um resumo das soluções e respetivos coeficientes de transmissão térmica. Apenas com a introdução das soluções construtivas, a habitação ficou avaliada com classe de eficiência energética A.

Tabela 16 Descrição sumária das soluções construtivas e respetivos coeficientes de transmissão térmica (U)

Elemento construtivo	Descrição da solução	U(W/m <sup>2</sup> C°)
Paredes Exteriores	Paredes simples de tijolo térmico e ETICS <sup>27</sup> (e=0,1m), revestida interiormente por azulejo (cozinhas e casas de banho) e tinta (restantes paredes)	0,17
Pavimentos exteriores	Isolamento térmico (XPS) pelo exterior (e=0,1m), com acabamento a IPE (madeira) nas varandas	Ascendente – 0,33 Descendente – 0,29
Cobertura	Cobertura horizontal com isolamento térmico (XPS) pelo exterior (e=0,15m) (acabamento a godo)	Ascendente – 0,21 Descendente – 0,20
Vãos envidraçados	Janelas duplas, de correr, com caixilharia em PVC e vidro duplo (4x8x4)	1,4
Pavimentos térreos	Isolamento térmico (XPS) pelo interior (e=0,06m) e revestida a tijoleira – cozinhas e casas de banho – e madeira – restantes pavimentos	Ascendente tijoleira – 0,49; Descendente tijoleira/soalho – 0,49/0,47
Paredes interiores	Paredes simples com revestimentos pelo interior: tinta-tinta e tinta-azulejo	(1) Tijolo 11 – 1,61; Tijolo 15 – 1,35; (2) Tijolo 11 – 1,66; Tijolo 15 – 1,39; (3) Tijolo 11 – 1,66; Tijolo 15 – 1,43
Pavimentos interiores – pavimento sob espaço não-útil	Isolamento térmico (XPS) pelo interior (e=0,06m)	Ascendente tijoleira/ soalho – 1,61/0,44; Descendente tijoleira/ soalho – 1,62/0,41

### 5.3.3. Satisfação das necessidades de ventilação e instalação de águas quentes sanitárias

À semelhança do que aconteceu no edifício de reabilitação, também no edifício novo foi necessário verificar e satisfazer as necessidades de ventilação. Assim, analisaram-se igualmente duas situações diferentes. A primeira correspondeu a aberturas de admissão autorreguláveis e condutas de exaustão nas divisões sem janelas. A segunda, recorreu à ventilação mecânica com recuperador de calor. Para a instalação de AQS também se analisaram e simularam os mesmos equipamentos que no caso de estudo

<sup>27</sup> External Thermal Insulation Composite System – Sistema de Isolamento Térmico pelo exterior.

anterior: o termossifão com a resistência elétrica ou esquentador como equipamentos de apoio. Os dimensionamentos das aberturas de admissão de ventilação, bem como o dimensionamento do painel solar térmico para preparação de AQS encontram-se no Anexo G. Também neste caso foram consideradas as tarifas bi-horárias nas horas de vazio, para o estudo dos custos da resistência elétrica como equipamento de apoio e a sua comparação com os gastos aquando da utilização do gás natural, para o mesmo efeito.

#### **5.3.4. Simulação do sistema de arrefecimento/ aquecimento**

Analisando o quadro com os dados energéticos do edifício, que se apresenta na análise de resultados, verificou-se que as necessidades de energia úteis para aquecimento correspondem a cerca de 40% das necessidades de arrefecimento. Note-se que, existe uma diferença mínima entre as necessidades de arrefecimento do edifício e de referência. Neste sentido, simulou-se o equipamento que, segundo a preferência nacional, é o mais utilizado para colmatar as necessidades de arrefecimento – o *multi-split* ou também conhecido como bomba de calor ar/ar. Com esta abordagem, pretendeu-se perceber se efetivamente este equipamento é eficiente para colmatar as necessidades do edifício. Apesar da moradia apresentar maiores necessidades de arrefecimento – escolheu-se propositadamente um dos locais com temperaturas mais altas de Portugal – é também essencial que o equipamento satisfaça as necessidades de aquecimento, sempre que necessário. Isto é relevante uma vez que Portugal apresenta, globalmente, maiores necessidades de aquecimento do que arrefecimento [12,16] . Aproveitando a versatilidade do sistema, dimensionou-se 90% da parcela afeta deste equipamento para arrefecimento e 10% da parcela afeta para aquecimento.

#### **5.3.5. Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria**

Após um estudo pelos diferentes *sites* de empresas de climatização, verificou-se que a bomba de calor ar/água se apresenta como uma solução eficiente para a preparação de AQS, bem como para colmatar as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Com a introdução desta solução, pretendeu-se comparar a sua eficiência nos dois edifícios. Para além desta solução, também se simulou a introdução dos painéis fotovoltaicos como forma de compensação do consumo da energia elétrica do sistema *multi-split*. Tal como aconteceu no edifício de reabilitação, também aqui se analisaram dois casos distintos. No primeiro, considerou-se a utilização de painéis fotovoltaicos para autoconsumo e o segundo, a venda à rede da totalidade de energia produzida. O dimensionamento do painel fotovoltaico encontra-se no Anexo G. Avaliaram-se ainda a eficiência das bombas de calor água/água para a obtenção da energia geotérmica. Para além disso, testou-se ainda a utilização dos painéis fotovoltaicos associados à bomba de calor água/água.

## 5.4. Análise de resultados

Neste capítulo pretende-se a análise dos resultados obtidos com as opções tomadas nos casos de estudo. É apresentada uma avaliação paralela entre a classe de eficiência resultante do conjunto de soluções e sistemas – passivos e/ou ativos – e a análise económica. Esta última, baseou-se nos custos estimados de investimento e manutenção, na redução anual da fatura e no período de retorno do custo investido. Assim sendo, para além da utilização da folha de cálculo *IteCons*, utilizou-se ainda como ferramenta de trabalho, o Gerador de Preços da Cype. É importante referir que, para o estudo da redução da fatura anual, foram consideradas para todas as componentes – AQS, aquecimento e arrefecimento – equipamentos que utilizam como fonte de energia por defeito, a eletricidade. Assim foi possível realizar uma analogia a partir dessa fonte de energia, e a redução da fatura obtida aquando da utilização de outras fontes. A Tabela 17 apresenta o custo de 1kWh, o fator de conversão de energia primária para emissões de CO<sub>2</sub> e fator de conversão entre energia final e energia primária, das fontes de energia utilizados no presente caso de estudo.

Tabela 17 Custos e Fatores de Conversão das Fontes de Energia

Fonte de energia	€/kWh	kgCO <sub>2</sub> /kWh	Fpu
Eletricidade	0,17	0,144	2,5
Gás natural	0,09	0,202	1
Biomassa	0,05	0	1
Renovável térmica	0	0	1
Renovável elétrica	0	0	2,5

### 5.4.1. Caso de estudo 1 - Edifício a reabilitar

#### 5.4.1.1. Alteração das soluções construtivas – aplicação de soluções passivas

O edifício a reabilitar, trata-se de uma habitação unifamiliar típica portuguesa, com soluções construtivas pouco otimizadas. A construção tem vindo a sofrer evoluções que acompanham a tecnologia que se vai aperfeiçoando dia após dia. Como tal, existe a possibilidade de reaproveitar as soluções construtivas existentes, melhorando-as em certos aspetos que sucessivamente vão aumentar a classe de eficiência energética do edifício, sem ter que demolir e construir de novo. Pode verificar-se pela Figura 37, que apenas com a introdução das soluções passivas, obteve-se uma diminuição das necessidades de aquecimento de mais de 50%. As necessidades de arrefecimento também decresceram, mas estas não eram tão elevadas como as de aquecimento.

Paralelamente ao decréscimo verificado ao nível do aquecimento, também a classe energética subiu de D para B- (quarta posição em oito). Confirmou-se assim que o isolamento térmico dos elementos construtivos opacos permite a redução dos ganhos e perdas térmicas. Estas melhorias refletem-se diretamente no conforto do edifício e também nas suas necessidades de energia, uma vez que, quando se acresce o isolamento, ocorre um aumento da resistência ao fluxo de calor entre o interior e o exterior

do edifício, e como tal, as necessidades de aquecimento descem. Para além disso, a colocação de isolamento nas paredes exteriores, leva também à redução ou eliminação das pontes térmicas que possam existir. Relativamente aos vãos envidraçados, a substituição dos existentes por outros mais eficientes, também contribuiu para que a classe energética do edifício tivesse subido. Isto aconteceu já que se adotaram soluções envidraçadas com vidro duplo e PVC como material de caixilho. Estes pormenores são fulcrais, na medida em que, contribuem para o isolamento térmico das habitações. Para além das medidas passivas contribuírem para a melhoria do conforto térmico, estas também promovem a redução da fatura energética.

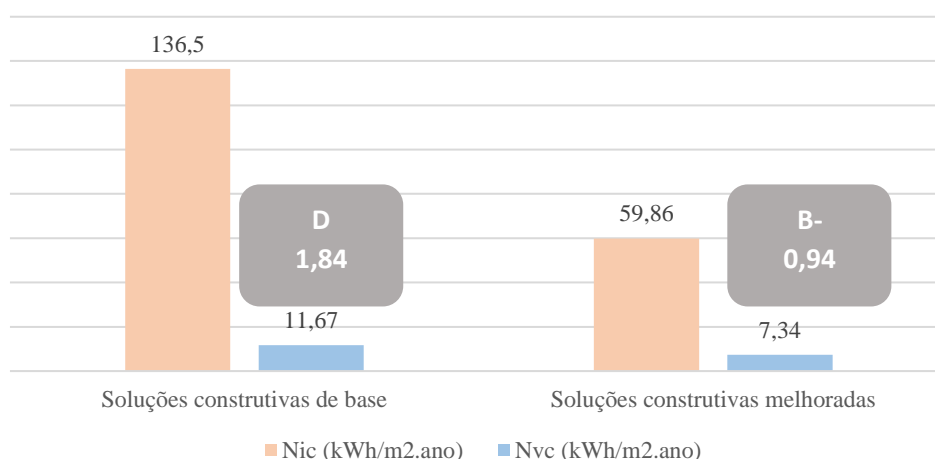


Figura 37 Evolução das necessidades de energia úteis após introdução das medidas passivas

#### 5.4.1.1.1. Análise económica

Analisando a Tabela 18, percebe-se que com a aplicação das medidas de melhoria passivas no edifício, resultou num investimento de cerca de 15 000 €. Foi na cobertura e paredes exteriores que se verificaram maiores percentagens de redução das necessidades de energia útil. Aquela que menos contribuiu para a redução foi a solução para o pavimento interior – pavimento que separa a zona útil (quartos do 1º piso) da garagem – uma vez que apresenta uma área relativamente pequena face às restantes. Relativamente à fatura energética anual, perspetivou-se uma redução de cerca de 2 770,00 €, correspondendo a um período de retorno de cerca de cinco anos. Esta redução foi obtida em relação aos equipamentos a eletricidade que fossem adotados para colmatar as necessidades de aquecimento e arrefecimento, antes da implantação das soluções de melhoras passivas para as soluções construtivas existentes.

Tabela 18 Análise Económica das Soluções Passivas

Solução Passiva	Área	Custo investimento (€)	Contribuição na redução da fatura (%)	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de Retorno (anos)
Cobertura	163,04	4 917,28	28,6 %	Aquecimento 2 719,63 €/ano	5,43
Paredes exteriores	171,19	2 468,56	13,3%		



Pavimentos interiores	104,94	2 171,21	3,4%	<b>Arrefecimento</b> 51,20 €/ano	
Vãos envidraçados	76,03	5 485,00	5,4%		
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>15 042,05</b>	<b>50,7%</b>		

#### 5.4.1.2. Satisfação das necessidades de ventilação

A verificação do cumprimento dos requisitos de renovação de ar deu origem ao gráfico da Figura 38. Este mostra a solução que proporcionou uma classe de maior eficiência, para o edifício em questão, foram as aberturas de admissão na envolvente e as condutas de exaustão por ventilação natural. No entanto, as classes de eficiência das soluções, apesar de serem diferentes, a sua diferença em termos numéricos não é assim tão notória. Verifica-se que a diferença das necessidades úteis arrefecimento, entre as duas soluções, é cerca de 1kWh/m<sup>2</sup>ano, não se verificando grandes diferenças nas necessidades de aquecimento. Tal como referido na secção dos sistemas passivos, a ventilação mecânica com recuperador de calor, mostrou-se ser um sistema eficiente, quando dimensionado para moradias que apresentem necessidades de energia útil quase nulas – *Passivhaus*, uma vez que, a recuperação do calor do ar extraído é suficiente para colmatar essas mesmas necessidades. No entanto, como o presente caso de estudo diz respeito a um projeto de reabilitação, e apesar de se terem melhorado significativamente a eficiência dessas soluções, verificou-se que continua a existir necessidades de energia que não conseguem ser colmatadas apenas pelo calor residual.

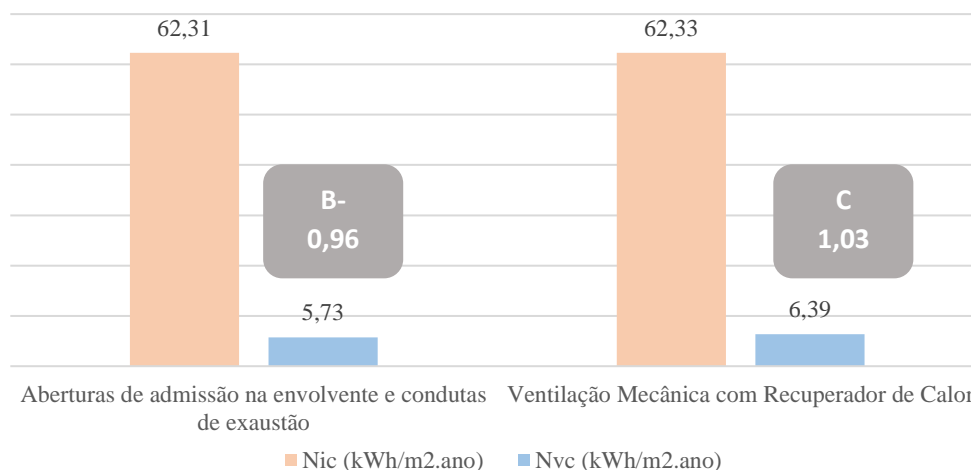


Figura 38 Soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

##### 5.4.1.2.1. Análise económica

A análise económica das duas soluções para verificação dos requisitos de ventilação (Tabela 19), permitiu verificar que a primeira solução apresenta cerca de metade do custo da segunda. O custo de manutenção a cada 10 anos, é muito maior na segunda solução, uma vez que se trata de um sistema mecânico e, como tal, requer uma manutenção frequente. Para além disso, a segunda solução possui ventiladores que requerem energia, o que se vai repercutir na fatura energética.

No estudo da redução da fatura anual, não se verificou uma diferença notória entre as duas soluções— cerca de 16,92€/ano e 11,24€/ano na primeira e segunda solução, respetivamente. Estas reduções deveram-se à descida verificada das necessidades de arrefecimento nas duas soluções. No entanto, as reduções ao nível do arrefecimento são imediatamente compensadas pelo aumento das necessidades de aquecimento. Como tal, esta abordagem de redução da fatura, torna-se irrelevante de estudar. A primeira solução tornou-se assim aquela que é considerada a melhor a adotar, por se tratar de um sistema híbrido, que privilegia a ventilação natural e que quando não é satisfatória, as aberturas autorreguláveis passam a cumprir a sua função. No Anexo F apresentam-se as aberturas nas plantas do edifício.

Tabela 19 Análise Económica das Soluções 1 e 2 para Cumprimento da Ventilação

<b>Solução</b>	<b>Custo estimado (€)</b>	<b>Custo de manutenção (€) – 10 anos.</b>
<b>1 – Aberturas de admissão</b> - Caixilhos (posição horizontal) – 6 aberturas	76,8	3,84
Parede – 4 aberturas	402,72	20,12
<b>Exaustão:</b> 3 condutas de ventilação.	43,11	2,16
<b>Total</b>	<b>522,63</b>	<b>26,12</b>
<b>2 - Recuperador de calor</b>	<b>816,21</b>	<b>138,76</b>

#### 5.4.1.3. Simulação de sistemas ativos para preparação de águas quentes sanitárias

A simulação dos sistemas ativos para AQS, permitiu verificar que o termossifão, independentemente do equipamento de apoio utilizado, contribui com 1733 kWh/ano para a preparação de AQS (Figura 39). Efetivamente, ao nível da eficiência energética não foram identificadas diferenças, na medida em que, o sistema solar térmico contribui nas duas soluções, com 80% da preparação de AQS, sendo os restantes 20% compensados pelos equipamentos de apoio. A diferença entre as duas soluções, verificou-se em termos económicos. Analisando o custo anual devido à utilização de uma e outra fonte de energia, ao nível dos equipamentos de apoio e também nas reduções da fatura energética. No entanto, acredita-se que, apesar das soluções apresentarem a mesma classe de eficiência, pode verificar-se situações em que efetivamente a utilização do esquentador, como equipamento de apoio poderá trazer mais vantagens, em termos de utilização mais eficiente da energia. Enquanto a resistência elétrica aquece homogeneamente toda a água presente no depósito – resultando um maior gasto de energia – e que possivelmente nem vai ser usada na totalidade, o esquentador, por sua vez, só aquece a água que é solicitada no momento.

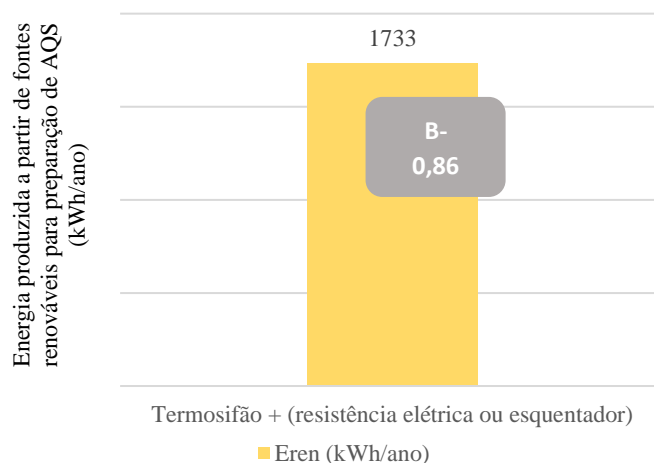


Figura 39 Energia produzida a partir de fontes renováveis para preparação de AQS [kWh/ano]

#### 5.4.1.3.1. Análise económica

A análise económica realizada às soluções propostas para preparação de AQS permitiu verificar que a solução com menor custo associado é o sistema termossifão com resistência elétrica incorporada no depósito (Tabela 20). Verificou-se também que a redução energética foi mais significativa quando se utiliza o termossifão e o esquentador como equipamento de apoio (cerca de 100 euros a mais). O período de retorno revelou-se ser igual nas duas soluções, sendo de 4,28 anos. Da análise efetuada ao custo anual do sistema de apoio (Tabela 21) percebeu-se que aquela que poderá trazer maiores custos é a utilização do termossifão com resistência elétrica incorporada. Como tal, identificou-se o termossifão com o esquentador a gás natural, como equipamento de apoio, como a melhor solução a instalar no edifício em estudo.

Tabela 20 Análise Económica dos Sistemas para produção de AQS

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1</b> – Termossifão (resistência elétrica incorporada + kit)	<b>1 327,52</b>	<b>1 008,92</b>	310,12	4,28
<b>Solução 2</b> – Termossifão s/ resistência elétrica	1 281,62	974,03	414,31	4,28
Esquentador	340,00	Sem informação		
Módulo solar universal	150,00	-		
<b>Total</b>	<b>1 771,62</b>	<b>974,03</b>		

Tabela 21 Custo anual com sistema de apoio

Fonte de energia	Até 6,9 kVA	€/kWh	kWh/ano	€/ano
Eletricidade – 2kW (Tarifa Bi-horária)	2kW = 2,5kVA	0,1014	2972-1733= 1239	125,63
Gás natural	-	0,09	2972-1733= 1239	111,51

#### 5.4.1.4. Simulação de sistemas ativos para aquecimento

A Tabela 22 resume as soluções de sistemas ativos simulados para aquecimento. Tal como se observa na Figura 40, a Solução 1 é aquela que permite ao edifício obter uma melhor classe energética, na medida em que, a caldeira para aquecimento central, consegue colmatar uma maior quantidade das necessidades de aquecimento- cerca de 26 kWhep/m<sup>2</sup>ano. Importa referir ainda que, no caso da Solução 1, admitiu-se que o sistema de apoio para preparação de AQS era o termossifão com resistência elétrica incorporada, de forma a reduzir o número de equipamentos utilizados na habitação. Na Solução 2, foi considerado o esquentador a gás natural, como equipamento de apoio ao termossifão.

Tabela 22 Soluções de sistemas ativos para aquecimento

<b>Solução 1</b>	Caldeira para aquecimento central; Termossifão com resistência elétrica
<b>Solução 2</b>	Sistema multi-split; Termossifão com esquentador a gás natural

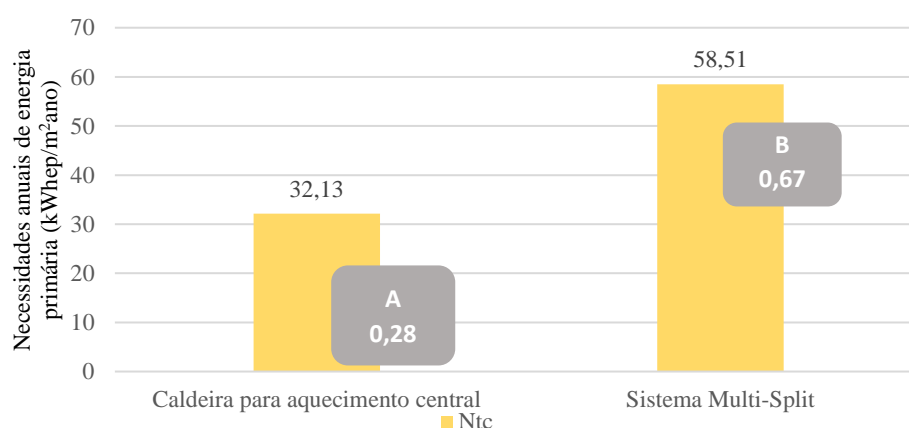


Figura 40 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhep/m<sup>2</sup>ano) das soluções de aquecimento e classe energética

##### 5.4.1.4.1. Análise económica

Tal como já foi referido, admitiu-se, por defeito, equipamentos totalmente elétricos, logo o sistema multi-split, não apresenta reduções da fatura anual. No entanto, este utiliza energia renovável já que extrai calor do ar (cerca de 80%). Assim, a sua eficiência da utilização da energia elétrica (COP = 3,60) é satisfatório. Para além disso, trata-se de um equipamento versátil, já que permite aquecer e arrefecer o ambiente interior e, assim sendo, pode ser requisitado, tanto nos dias mais frios, para aquecimento, como nos dias com temperaturas mais elevadas em que é necessário arrefecimento interior. Verifica-se na

Tabela 23 que a caldeira de condensação a gás natural, para aquecimento, permitiu uma redução da fatura em cerca de 1 990,00€ anualmente. Assim, o período de retorno desta solução é de aproximadamente um ano e nove meses. Verificou-se que, aquela que trará mais vantagens a nível

económico e de eficiência energética é a Solução 1. No entanto, deve ter-se em atenção que, para que seja economicamente satisfatório, a habitação já deverá apresentar pré-instalação para um sistema aquecimento, uma vez que, o seu custo encareceu a solução, refletindo-se num maior período de retorno.

Tabela 23 Análise Económica das Soluções de Aquecimento

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo Energia final (kWh/ano)	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1</b> - Caldeira para aquecimento	1 747,64	1 660,26	3422,48	<b>Aquecimento</b> 1 990,55 + <b>(AQS)</b> 310,12 <b>Total</b> 2300,67	1,73
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
Termossifão (resistência elétrica incorporada)	1 327,52	1 008,92			
<b>Total</b>	<b>3 969,9</b>	<b>2 794,41</b>			
<b>Solução 2</b> - Sistema Multi-Split (4x1)	2 945,00	1 402,41	2305,93	-	-
Instalação multi-split	830,00	-			
Termossifão + esquentador	1 771,62	974,03			
<b>Total</b>	<b>5 546,62</b>	<b>2 376,44</b>			

#### 5.4.1.5. Análise de possíveis medidas de melhoria

A Tabela 24 e a Tabela 25 apresentam as combinações de soluções de melhoria propostas tendo em conta que no Contexto 1 não existia pré-instalação e no Contexto 2 esta pré-instalação era existente, respetivamente.

Tabela 24 Combinação de soluções - Contexto 1 - sem pré-instalação de aquecimento central

<b>Solução 1</b>	Multi-split + Painéis fotovoltaicos c/ AC; Termossifão com esquentador a gás natural
<b>Solução 2</b>	Sistema multi-split + Painéis fotovoltaicos s/AC; Termossifão com esquentador a gás natural
<b>Solução 3</b>	Salamandra a biomassa; Termossifão com esquentador a gás natural

Tabela 25 Combinação de soluções - Contexto 2 - com pré-instalação de aquecimento central

<b>Solução 4</b>	Caldeira (AQS e aquecimento); Sistema solar térmico (circulação forçada)
<b>Solução 5</b>	Salamandra a biomassa; Sistema solar térmico (circulação forçada)
<b>Solução 6</b>	Bomba de calor ar/água c/ depósito integrado; Pannel solar térmico
<b>Solução 7</b>	Caldeira + bomba de calor ar/água c/ depósito integrado; Pannel solar térmico
<b>Solução 8</b>	Caldeira a biomassa; Sistema solar térmico (circulação forçada)
<b>Solução 9</b>	Bomba de calor água/água (AQS e aquecimento); Pannel solar térmico
<b>Solução 10</b>	Bomba de calor água/água (aquecimento); Termossifão com esquentador a gás natural

A Figura 41 e Figura 42 mostram as necessidades nominais anuais globais de energia primária obtidas, para a habitação em ambos os contextos, com e sem pré-instalação de aquecimento central,

respetivamente. Note-se que, para as soluções 1, 2, 3 e 10 considerou-se o termossifão com o esquentador como equipamentos de produção escolhido para preparação de AQS. Por sua vez, nas soluções 4, 5 e 8 dimensionou-se um sistema solar por circulação forçada. Nas soluções 6,7 e 9 apenas se adotou um painel solar térmico, na medida em que, a bomba de calor ar/água e bomba de calor água/água já vem equipada com depósito de inércia.

A análise efetuada e refletida na Figura 41 permitiu verificar que a medida de melhoria que permite melhorar a eficiência energética da habitação e assim, obter uma melhor classe de desempenho energético foi salamandra a biomassa – solução 3 - (no contexto 1) e a salamandra – solução 5 - e caldeira a biomassa – solução 8 - (no contexto 2), atingindo a classe de desempenho energético mais elevada.

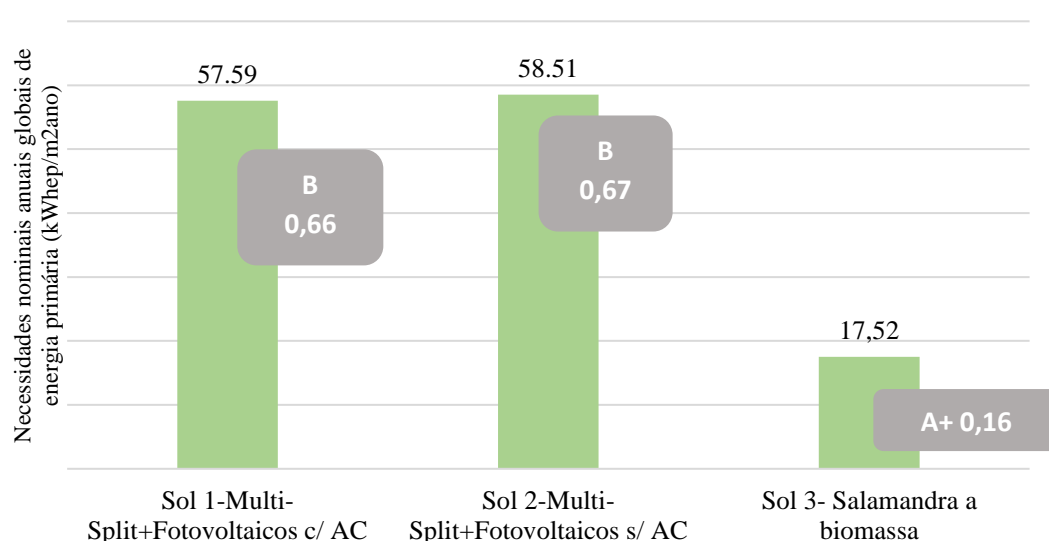


Figura 41 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m²ano) das medidas de melhoria – Contexto 1

Quando às Soluções 1 e 2, estas utilizaram painéis fotovoltaicos como forma de compensação dos custos da fatura da energia elétrica. No entanto, apresentam-se duas soluções distintas. A primeira utilizou a energia produzida para autoconsumo (293 kWh/ano) injetando 697 kWh/ano na rede. A segunda, por sua vez, correspondeu à venda de toda a energia produzida à rede, cerca de 1087 kWh/ano. Assim sendo, na Solução 1, o custo do consumo anual de energia elétrica para aquecimento foi cerca de 255,12 €, contabilizando *a priori*, o valor recebido pela energia vendida à rede. A solução 2 daria origem a um custo de cerca de 92,73 € por ano em consumo de energia. Comparando agora a Solução 1 que utiliza os painéis fotovoltaicos para autoconsumo com a solução em que se utiliza apenas o sistema *multi-split* (solução 2 dos sistemas de aquecimento), verificou-se que as necessidades não diminuíram. A classe de eficiência energética nos dois casos, manteve-se em B, com uma diferença mínima em termos numéricos. Portanto, apesar das necessidades globais descenderem minimamente e ser utilizada uma fonte

de energia renovável, a diferença não se revelou tão notória que compensasse o investimento em painéis fotovoltaicos para autoconsumo, a curto prazo. Veja-se que, em termos de necessidades de energia, apenas existia uma diminuição em cerca de 77,11 kWh/ano no consumo de eletricidade, que corresponde a uma redução de aproximadamente 13 euros anuais. Para que se torne vantajosa a utilização dos painéis fotovoltaicos para autoconsumo, o custo inicial na aquisição dos mesmos, deve sofrer uma redução. Considerando que o período de retorno dos painéis fotovoltaicos para autoconsumo fosse o mesmo que os painéis fotovoltaicos que tinha como fim, a venda total à rede, ou seja, cerca de cinco anos e meio, o custo inicial dos painéis devia descer aproximadamente 975 euros (cerca 65% do custo considerado). Quando se opta por investir em painéis fotovoltaicos, para a venda total da energia à rede, as reduções dos custos anuais do consumo para aquecimento mostraram-se bastante satisfatórias.

Comparando a Solução 4 que utiliza o sistema combinado da renovável térmica com a caldeira para preparação de AQS e aquecimento, com a Solução 1 dos sistemas de aquecimento – solução que utiliza a caldeira apenas para aquecimento – verificou-se que a primeira apresenta classe de eficiência energética máxima (A+). A solução que utiliza a caldeira para preparação de AQS e aquecimento central (solução 4), conseguiu colmatar uma maior necessidade de energia anual global – cerca de 4,21 kWh/m<sup>2</sup>ano - do que a caldeira que seria apenas utilizada para aquecimento (Figura 42).

Na solução 6, que consistiu na bomba de calor ar/água como apoio ao sistema solar térmico na preparação de AQS e estava também preparado para o aquecimento do ambiente interior. Esta solução para aquecimento revelou-se ser a que colmata uma menor necessidade de energia global, apresentando-se com classe B.

Relativamente à Solução 7, utilizou-se a combinação da caldeira com a bomba de calor ar/água. Esta solução conseguiu colmatar uma maior necessidade de energia, quando comparada com a solução anterior, obtendo uma classe de eficiência energética A.

Optou-se também por avaliar a eficiência das bombas de calor água/água (geotérmicas), de forma a perceber se, o investimento neste tipo de equipamento atualmente, poderia ou não compensar em termos energéticos. Assim, analisaram-se as Soluções 9 e 10, em que na primeira se considerou a bomba de calor para a preparação de AQS e aquecimento, e na segunda, apenas se utilizou a bomba de calor para aquecimento. Verificou-se que ambas pertencem à classe B, sendo que a segunda solução permitiu colmatar uma maior quantidade de energia primária. Como tal, percebeu-se que, seria mais eficiente utilizar a bomba de calor água/água, apenas para o aquecimento da habitação.

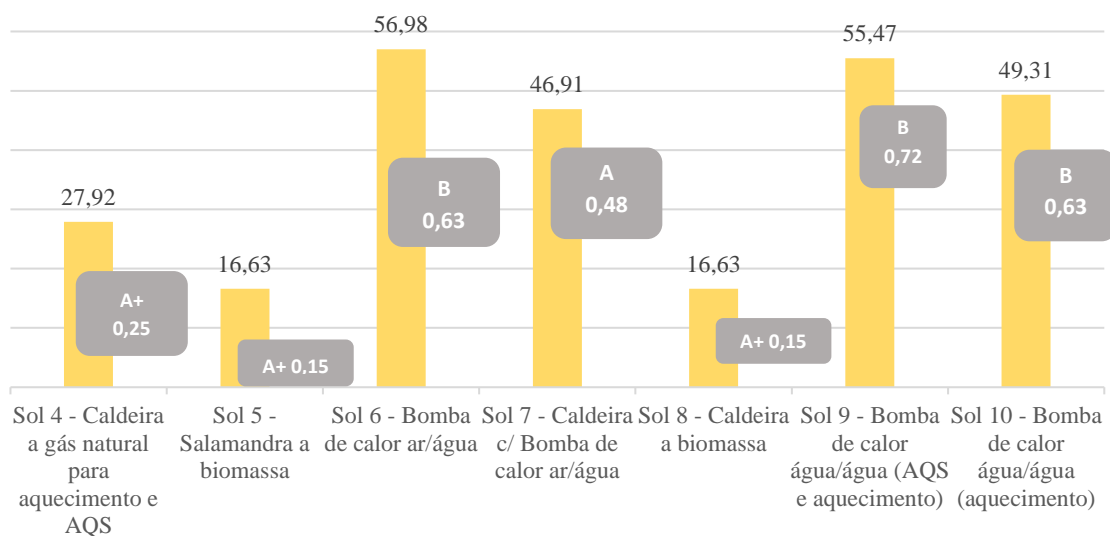


Figura 42 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m²/ano) das medidas de melhoria - Contexto 2

#### 5.4.1.5.1. Análise económica

A análise económica realizada, apenas considerou as reduções económicas dos equipamentos que não requerem energia elétrica para funcionar, uma vez que foram considerados, por defeito, equipamentos elétricos. Como tal, nas Soluções 6,7,8, 9 e 10, apenas se apresentam os consumos da energia final. Estes consumos dependem do coeficiente de desempenho dos equipamentos (COP), que quanto mais alto se apresenta, maior é a eficiência com que o equipamento utiliza a energia, resultando no menor consumo da mesma.

Analisando individualmente os dois contextos verificou-se que quando não existe pré-instalação para sistema de aquecimento do ambiente interior (Tabela 26), a solução com maiores reduções e consecutivamente, com períodos de retorno mais curtos, foi a salamandra a *pellets*. No entanto, acredita-se que esta apenas consegue aquecer convenientemente a divisão onde se encontra. Veja-se ainda, que se trata uma habitação com dois pisos, e com uma grande área, como tal, o calor proveniente da salamandra instalada, por exemplo, na sala de estar, não vai chegar às restantes divisões da habitação com o mesmo desempenho. No entanto, para apartamentos ou moradias com uma dimensão menor, esta poderá ser uma boa solução. Com a introdução de painéis fotovoltaicos, como forma de compensação dos custos anuais em eletricidade, verificou-se que a Solução 2 – painéis fotovoltaicos sem autoconsumo – apresentava uma situação económica bastante satisfatória, representando uma redução de quase 500 € na fatura anual para aquecimento. Como tal, mostrou-se ser uma excelente medida de melhoria ao sistema *multi-split*, sendo o custo de investimento nos painéis, recuperado em cerca de cinco anos e meio.



Tabela 26 Análise Económica das Medidas de Melhoria - Contexto 1

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo Energia final (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1/2<sup>28</sup></b> - Sistema multi-split 4x1	2 945,00	1 402,41	Sol.1 3 345,38 + AQS 52,64 Total <b>3 398,02</b>	Sol.1 313,65  +  (AQS) 526,7  Total 840,4	Sol.2 489,15  +  (AQS) 526,7  Total 1015,9
Instalação multi-split	830,00	-			
6 Painéis fotovoltaicos (PF)	2 700,00	405,00	Sol.2 3 422,49 + AQS 52,64 Total <b>3 475,13</b>		Sol.1 8,60  PF 5,52
Termossifão + Esquentador	1 771,62	974,03			
<b>Total</b>	<b>8 246,00</b>	<b>2 781,44</b>			
<b>Solução 3</b> - Salamandra a pellets sem alimentação dos radiadores/	2 979,90	506,58	AQS 52,64 + 2 435,48 Total <b>2 488,12</b>	Aquecimento 2 089,41 + AQS - 526,7 Total <b>2 616,11</b>	1,14
Termossifão + esquentador	1 771,62	974,03			
<b>Total</b>	<b>2 979,90</b>	<b>506,58</b>			

A análise económica às soluções que requerem pré-instalação de aquecimento central permitiu verificar que todas elas apresentam grandes custos de investimento (Tabela 27).

Tabela 27 Análise Económica das medidas de melhoria - Contexto 2

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo Energia final (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 4</b> - Caldeira	2 034,99	1 933,24	AQS 51,19		
Sistema solar térmico com depósito (circulação forçada)	3 182,04	2 418,35	Aquecimento 2 305,93 Total <b>2 357,12</b>	AQS 526,84 Aquecimento 2 003,44 Total <b>2 530,28</b>	2,42
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
<b>Total</b>	<b>6 111,77</b>	<b>4 476,82</b>			
<b>Solução 5</b> - Salamandra a biomassa com alimentação dos radiadores	4 173,30	709,46	AQS 47,29	AQS 529,4	3,15
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23	Aquecimento 2356,06 Total	2 093,38 Total <b>2 622,78</b>	

<sup>28</sup> Nesta solução, calculou-se o período de retorno dos painéis fotovoltaicos (PF) individualmente – para o caso de uma habitação já possuir os restantes equipamentos – e também o período de retorno do conjunto.

<b>Solução</b>	<b>Custo Investimento (€)</b>	<b>Custo manutenção (€) – 10 anos</b>	<b>Consumo Energia final (kWh/ano)</b>	<b>Redução da Fatura Anual (€/ano)</b>	<b>Período de retorno (anos)</b>
Sistema solar térmico com depósito (circulação forçada)	3 182,04	2 418,35	<b>2 403,35</b>		
<b>Total</b>	<b>8 250,08</b>	<b>3 253,04</b>			
<b>Solução 6</b> – Bomba de calor ar/água com depósito	7 965,58	5 097,97	AQS 140,08 Aquecimento 3187,61 Total <b>3 327,69</b>	-	-
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	<b>Sem informação</b>			
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
<b>Total</b>	<b>9 448,14</b>	<b>5 223,2</b>			
<b>Solução 7</b> – Caldeira + bomba de calor ar/água - Caldeira	2 034,99	1 933,24	AQS 51,19 Aquecimento <u>Caldeira-</u> 691,78  <u>Bomba de calor-</u> 2231,33  Total <b>2 974,3</b>	-	-
Bomba de calor ar/ água com depósito	7 965,58	5 097,97			
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	<b>Sem informação</b>			
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
<b>Total</b>	<b>11 483,13</b>	<b>7 156,44</b>			
<b>Solução 8</b> – Caldeira a biomassa	10 364,78	4 664,15	AQS 47,81  Aquecimento 2381,95  Total <b>2 429,76</b>	AQS 529,37 Aquecimento 2 092,09 Total <u>2 621,46</u>	5,51
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
Sistema solar térmico com depósito (circulação forçada)	3 182,04	2 418,35			
<b>Total</b>	<b>14 441,56</b>	<b>7 207,73</b>			
<b>Solução 9</b> – Bomba de calor água/ água	11 741,31	7 514,44	AQS 63,82 Aquecimento 3179,82 Total <b>3 243,64</b>	-	-
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	<b>Sem informação</b>			
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
<b>Total</b>	<b>13 223,87</b>	<b>7 639,67</b>			

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo Energia final (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 10</b> – Bomba de calor água/ água (aquecimento)	3 055,84	1 955,14	AQS 52,64 Aquecimento 2 654,18 Total <b>2 706,82</b>	-	-
Termossifão + esquentador	<b>1 771,62</b>	<b>974,03</b>			
Elementos de difusão: 7 radiadores	894,74	125,23			
<b>Total</b>	<b>5 722,2</b>	<b>2 080,37</b>			

Ao comparar-se a solução 4 – utilização da caldeira para produção AQS e aquecimento – com a solução que é mais utilizada a nível nacional para aquecimento – caldeira para aquecimento central -, verificou-se que, a primeira apresenta um custo de investimento maior (devido ao sistema de circulação forçada apresentando, no entanto, maiores reduções da fatura anual, sendo que corresponde à solução com menores consumos de energia.

As Soluções 5 e 8 utilizam biomassa como fonte de energia para a preparação AQS e aquecimento. As reduções verificadas nas duas soluções são muito próximas, no entanto, devido ao custo mais elevado da caldeira, a Solução 5 – salamandra – tornou-se mais vantajosa, pois permite períodos de retorno mais curtos.

Da análise das soluções que utilizam a bomba de calor ar/água, foi possível perceber-se que estas requerem um custo de investimento elevado, tendo também elevados consumos de energia. No entanto, a Solução 7, que combina a caldeira com a bomba de calor, é a que permite menores consumos de energia. Isto acontece, por duas razões: a primeira razão deve-se à utilização de caldeira a gás natural. Este equipamento apresenta um COP quase máximo (COP=5,64) e como tal, utiliza a energia de forma mais eficiente do que a bomba de calor, cujo COP é 4,08. A segunda razão está na quantidade de energia produzida para a preparação de águas quentes sanitárias. Na solução em que é utilizada apenas a bomba de calor (Solução 6) só é possível aproveitar 70% da energia renovável para a preparação AQS, ao contrário do que acontece com a solução combinada da caldeira com a bomba de calor, que aproveita mais 10% da energia renovável térmica. Recuperando então os dados obtidos sobre a eficiência energética de ambas as soluções, verificou-se que a solução que combina a bomba de calor com a caldeira foi a mais energeticamente eficiente, resultando na classe A. Como tal, acredita-se que esta possa ser uma boa solução a adotar, nas situações em que a habitação já possua um dos equipamentos (bomba de calor ou caldeira).

Relativamente às soluções que utilizam a bomba de calor água/água geotérmica – Soluções 9 e 10-, verificou-se que é a bomba de calor apenas para o aquecimento da habitação é a que apresenta menores custos de investimento. Para além disso, em termos de eficiência energética, também esta solução

consegue colmatar maiores quantidades de energia primária, já que os consumos de energia são mais elevados na Solução 9. Isto acontece porque, o COP da bomba de calor somente para aquecimento é superior ao coeficiente de desempenho da bomba de calor para preparação AQS e aquecimento.

Analisando os dois contextos, acredita-se que para a situação em que a habitação não possui pré-instalação de aquecimento central, a melhor solução pode passar pela compra de painéis fotovoltaicos, para a injeção total da energia produzida na rede, que vai auxiliar quase na totalidade, o pagamento da energia elétrica (*multi-split*) para aquecimento, durante o ano.

Tendo em conta o segundo contexto, acredita-se que a melhor solução, tanto a nível energético, como económico, passa pela utilização da caldeira a gás natural para a preparação de AQS e aquecimento ou mesmo pela salamandra a biomassa.

No entanto, com o intuito de estudar a introdução de painéis solares fotovoltaicos numa solução com pré-instalação de aquecimento central, realizou-se o *ranking* da Figura 43, para verificar aquela que possivelmente permitia obter bons resultados. Verificou-se que a solução da bomba de calor água/água para aquecimento, se encontra na posição 5 do *ranking*, tanto para a eficiência energética, como para os consumos de energia, como tal, poderia existir algum potencial de melhoria. Apesar de não se apresentar de forma explícita a solução – uma vez que se acredita que existem melhores soluções apresentadas para aquecimento central, nomeadamente a caldeira para preparação AQS e aquecimento e a salamandra a biomassa, por apresentarem a classe de eficiência máxima e grandes reduções da fatura energética-verificou-se que esta, apresentou um desfecho semelhante à solução 1 (introdução dos painéis ao *multi-split*). No primeiro caso, em que se utiliza a energia produzida para autoconsumo (290 kWh/ano) e a outra parcela é injetada na rede (657 kWh/ano), verificou-se que, se consegue cobrir cerca de metade dos custos de aquecimento anual. Relativamente à classe de eficiência energética, esta permaneceu na classe B, com uma redução que não atingiu sequer 1kWh/m<sup>2</sup>ano de energia primária. Como tal, a utilização dos painéis para autoconsumo, continua a não apresentar grandes vantagens, que justifiquem a implementação de painéis para este fim. No segundo caso, por sua vez, vendeu-se toda a energia produzida à rede (cerca de 1087 kWh/ano). Conseguiu-se assim, cobrir a totalidade dos custos que se tem em aquecimento durante o ano, e ainda obter um ganho de cerca de 40 euros anuais. Conclui-se que, em habitações de aquecimento central, a implementação de painéis solares fotovoltaicos, que tem como fim, a venda total da energia produzida, para além de resultar na anulação do custo no consumo de energia para aquecimento, anualmente, permite ainda obter um ganho extra.

De forma a obter-se uma melhor leitura dos resultados obtidos às medidas de melhoria, a Figura 43, apresenta o *ranking* com 10 posições (posição 1 – melhor solução; posição 10 – pior solução). A análise económica, apoiou-se nos consumos de energia de cada equipamento. Estes são tanto mais baixos quanto mais alto for o coeficiente de desempenho (COP) do equipamento.

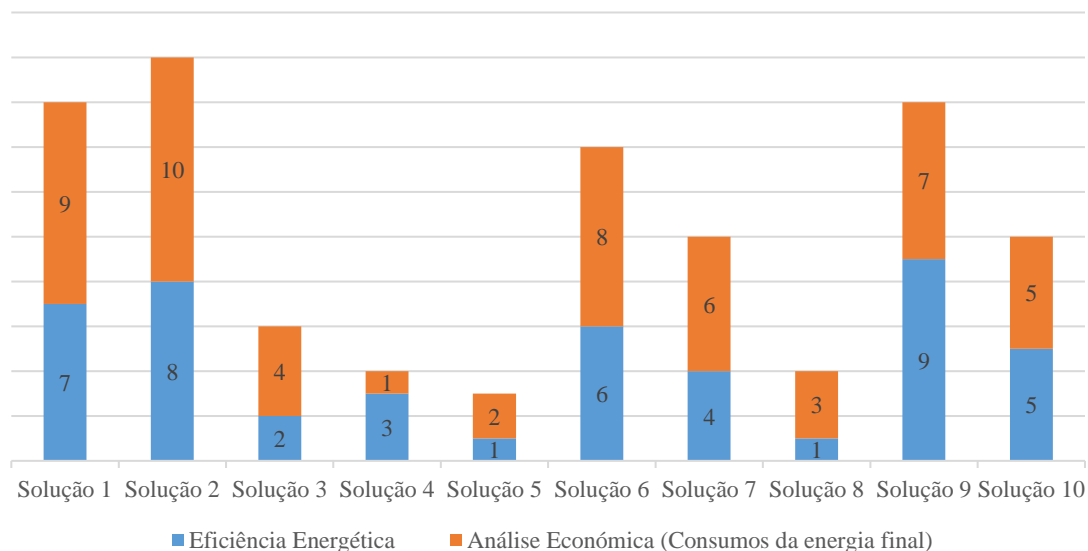


Figura 43 Ranking de eficiência energética e análise económica das medidas de melhoria (1-10)

Percebeu-se que três das quatro melhores soluções, tanto a nível energético como económico, são as soluções que requerem aquecimento central. No entanto, volta-se a lembrar que, com o objetivo de ter um leque mais abrangente de soluções, se consideraram dois cenários – com e sem pré-instalação de aquecimento central. Portanto, as soluções de aquecimento central que se apresentam, consideram a existência da pré-instalação. Caso contrário, em termos económicos, estas soluções apresentavam custo de investimento maiores e consecutivamente maiores períodos de retorno.

Verificou-se que as três melhores soluções em termos de eficiência energética são as soluções que utilizam a biomassa e o gás natural como fontes de energia, sendo que em termos económicos – consumos de energia – verifica-se que é nas soluções que utilizam caldeira a gás natural e a salamandra e caldeira a biomassa.

Através desta análise, percebe-se que nem sempre a melhor solução em termos energéticos corresponde aquela que apresenta menores consumos. E o contrário é verdadeiro. Por exemplo, a solução 8, corresponde à melhor solução posicionada em termos de eficiência energética, no entanto, é a terceira solução com menores consumos. O mesmo acontece na solução 4, que embora seja a solução que apresente menores consumos de energia, corresponde à terceira melhor solução ao nível da eficiência energética. No entanto, são soluções que conseguem responder de forma positiva ao nível da eficiência e consumos associados.

#### **5.4.1.6. Discussão e considerações do caso de estudo 1**

Apenas com a implementação das melhorias passivas ao nível dos elementos construtivos do edifício, as necessidades de aquecimento desceram imediatamente para metade. Aqui verifica-se efetivamente o potencial de melhoria que existe, adotando, numa primeira abordagem de reabilitação, as soluções passivas. Ainda sobre a importância deste tipo de soluções, note-se que, também no cumprimento da ventilação, as soluções passivas foram invocadas, através do aumento das espessuras ao nível da cobertura e paredes exteriores.

O esquentador é o equipamento mais utilizado a nível nacional, para a produção de AQS. Este estudo, permitiu verificar que efetivamente este é o melhor equipamento de apoio ao sistema solar térmico, apresentando menores reduções da fatura anual.

Para esta habitação de reabilitação, no contexto da existência de pré-instalação de aquecimento central, a adoção do sistema combinado da caldeira a gás natural, para aquecimento e produção AQS, assim como o a salamandra a biomassa com alimentação dos radiadores, seriam opções credíveis e eficientes a nível energético. No entanto, e pela simples razão de que a habitação não possui pré-instalação de aquecimento central, optou-se pela instalação de um termossifão e esquentador como equipamento de apoio, para produção de AQS e pelo sistema multi-split com painéis fotovoltaicos com a injeção da totalidade da energia produzida na rede. Utilizou-se assim quatro fontes de energia: renovável térmica, renovável elétrica, gás natural e eletricidade.

Como se trata de um projeto de reabilitação e já existem muitos custos envolvidos no mesmo, opta-se por fazer uso dos painéis fotovoltaicos (sem autoconsumo), para recuperar parte do investimento global efetuado para a reabilitação da moradia. Esta solução apresenta classe energética B.

Contudo, se o proprietário não tivesse qualquer entrave ao investimento de pré-instalação, acredita-se que a melhor solução em termos energéticos e de redução, seria a adoção da caldeira a gás natural para AQS e aquecimento ou mesmo a salamandra a biomassa. Com estas soluções, a habitação ficaria avaliada na classe máxima de eficiência.

Veja-se agora com particular atenção a solução que combina a bomba de calor e a caldeira. Trata-se de uma solução que apresenta custos de investimento bastante elevados, quando comparada com as restantes soluções, devido ao número de equipamentos necessários. No entanto, apresenta-se como a quarta melhor solução ao nível da eficiência energética. Acredita-se que, se o edifício já tivesse em sua posse um dos equipamentos – bomba de calor ar/água ou caldeira de condensação -, esta seria uma boa solução a ser implementada.

A realização deste estudo, permitiu perceber que as soluções passivas têm um grande peso no âmbito da climatização dos edifícios, e como tal, devem ser bem ponderados no início de uma construção. Para além disso, percebeu-se que os sistemas ativos conseguem complementar as necessidades de energia de

um edifício. Contudo, se não existisse possibilidade de adquirir algum dos sistemas acima mencionados, as necessidades nominais de energia útil do edifício, após a implementação das melhorias nas soluções construtivas, cumprimento da ventilação e instalação de equipamento para produção de AQS, eram desde logo inferiores às necessidades de referência e a eficiência global subia de imediato duas classes.

## 5.4.2. Caso de Estudo 2 - Edifício novo

### 5.4.2.1. Introdução das soluções construtivas e classe energética

Apenas com a introdução das soluções construtivas, verifica-se que a classe energética do edifício é A (Figura 44). Verifica-se também que as necessidades de energia úteis são maiores ao nível do arrefecimento da habitação.

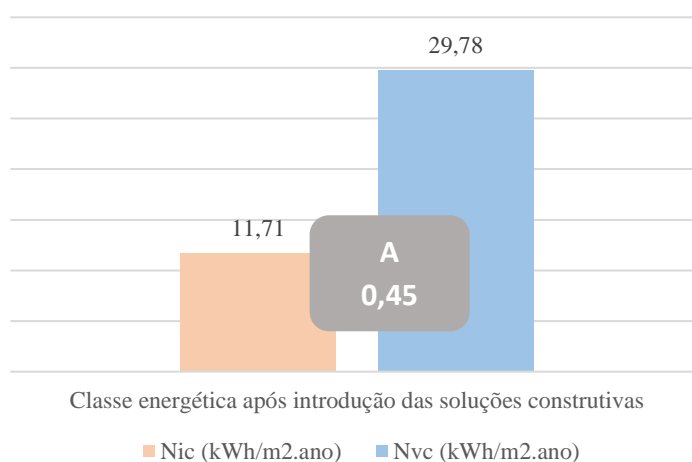


Figura 44 Necessidades nominais anuais globais de energia (kWh/m².ano) e classe energética após introdução das soluções construtivas

### 5.4.2.2. Satisfação das necessidades de ventilação

De forma semelhante ao caso de estudo 1, para a satisfação das necessidades de ventilação, foram abordadas duas soluções. A primeira solução trata-se de ventilação que utiliza as aberturas autorreguláveis e as condutas de exaustão. A segunda, por sua vez, trata-se de ventilação mecânica com recuperador de calor. Verifica-se na Figura 57 que a solução que proporciona a melhor classe energética, é a primeira solução. No entanto, e ao contrário do que aconteceu no projeto de reabilitação, o recuperador de calor, no presente caso de estudo, permite que as necessidades de aquecimento tenham diminuído ligeiramente. Isto acontece porque efetivamente, as necessidades de aquecimento são inferiores às necessidades de arrefecimento, e como tal, o calor residual aproveitado do ar extraído, conseguiu ser novamente implementado e descer as necessidades de aquecimento. Contudo, esta solução requer energia elétrica para o funcionamento dos ventiladores e desce a classe energética para B. Como tal, apesar da primeira solução aumentar ligeiramente as necessidades de aquecimento, revela-se a melhor solução para adotar neste edifício. Para a satisfação dos requisitos mínimos de ventilação é

necessário um caudal de 379,90 m<sup>3</sup>/h. Como tal, sabendo que cada abertura permite a passagem de 45 m<sup>3</sup>/h, utilizam-se 5 aberturas de admissão, na posição horizontal, nos caixilhos e 4 nas paredes exteriores. Para além disso, são também adotadas condutas de ventilação de extração para as duas casas de banho sem janela e também para o compartimento fechado da cozinha. No Anexo G apresentam-se as aberturas nas plantas.

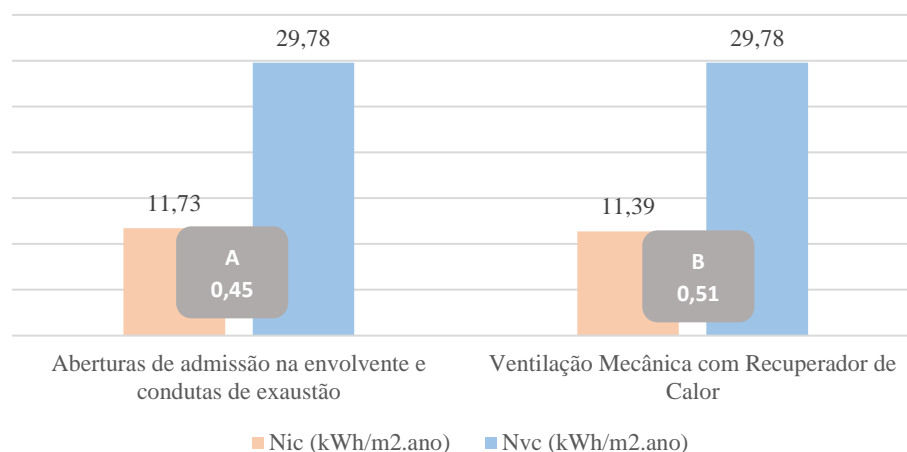


Figura 45 Solução 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

#### 5.4.2.2.1. Análise económica

A Tabela 28 apresenta a análise do custo estimado de implementação das soluções de ventilação. Tal como aconteceu no caso de estudo anterior, aquela que apresenta maiores custos envolvidos, tanto inicial como manutenção, é a solução 2.

Tabela 28 Análise económica das soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

Solução	Custo estimado (€)	Custo de manutenção (€) – 10 anos.
<b>1 – Aberturas de admissão</b> - Caixilhos (posição horizontal) – 5 aberturas	64,00	3,20
Parede – 4 aberturas	402,72	20,12
Exaustão: 3 condutas de ventilação.	43,11	2,16
<b>Total</b>	<b>509,83</b>	<b>25,48</b>
<b>2 - Recuperador de calor</b>	<b>816,21</b>	<b>138,76</b>

#### 5.4.2.3. Simulação de sistemas ativos para produção de águas quentes sanitárias (AQS)

Também neste caso de estudo se simulam os mesmos equipamentos que se analisaram no projeto de reabilitação. Como se sabe, a renovável térmica depende fortemente da radiação solar. Em Évora, verificou-se que a produtividade dos coletores solares é maior do que a verificada em Leiria – consegue produzir 40 kWh/m<sup>2</sup> a mais do que Leiria -, e por essa razão, os coletores apresentam uma maior



quantidade de energia produzida a partir de fontes renováveis para a produção de águas quentes sanitárias, na cidade de Évora (Figura 46). Pelas mesmas razões explicadas no caso de estudo 1, a opção pela resistência elétrica ou esquentador, como equipamento de apoio, apenas tem influência ao nível dos custos anuais de cada um, não se verificando diferenças em termos de eficiência energética, na medida em que, se considera a mesma parcela afeta dos painéis solares térmicos (80%) à produção de AQS. Resulta assim, na classe de eficiência A.

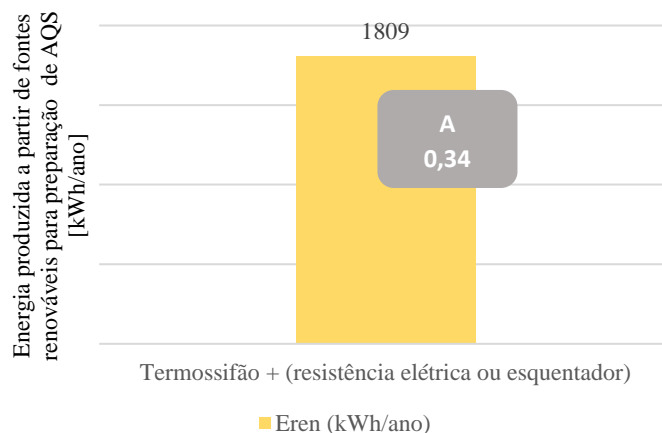


Figura 46 Energia produzida a partir de fontes renováveis para preparação de AQS [kWh/ano]

#### 5.4.2.3.1. Análise económica

A Tabela 29 apresenta a análise económica efetuada aos sistemas de produção AQS simulados anteriormente. Como a radiação solar é maior em Évora, as reduções da fatura anual neste edifício, são maiores. No entanto, também neste caso se verifica que as reduções são maiores quando se utiliza o sistema combinado do esquentador e da renovável térmica. Contudo, o período de retorno é ligeiramente mais pequeno quando se adota o termossifão e resistência elétrica incorporada, devido ao número de equipamentos utilizados. Embora se admita que a resistência elétrica é acionada tendo em conta a tarifa bi-horária, verifica-se na Figura 24, que aquela que resultará no menor custo anual, continua a ser o esquentador como equipamento de apoio.

Tabela 29 Análise económica dos sistemas para produção AQS

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1</b> – Termossifão (resistência elétrica incorporada + kit)	<b>1 327,52</b>	<b>1 008,92</b>	323,72	4,10 (4 anos e 1 mês)
<b>Solução 2</b> – Termossifão s/ resistência elétrica	1 281,62	974,03	421,51	4,20 (4 anos e 2 meses)
Esquentador	340,00	Sem informação		
Módulo solar universal	150,00	-		
<b>Total</b>	<b>1 771,62</b>	<b>974,03</b>		

Tabela 30 Custo anual com o sistema de apoio

Fonte de energia	Até 6,9 kVA	€/kWh	kWh/ano	€/ano
Elettricidade – 2 kW (Tarifa Bi-horária)	2kW = 2,5 kVA	0,1014	2972-1809= 1163	117,93
Gás natural	-	0,09	2972-1809= 1163	104,67

#### 5.4.2.4. Simulação do sistema ativo para arrefecimento/aquecimento

A Figura 47 revela que a classe de eficiência energética se manteve com classe A, no entanto verifica-se em termos numéricos, esta melhorou ligeiramente. Com a adoção do sistema multi-split, consegue colmatar-se cerca de 11,35 kWhep/m<sup>2</sup>ano. Apesar do sistema não permitir que hajam reduções na fatura anual (Tabela 31), verifica-se que é sempre uma boa solução de se adotar, tendo em conta os resultados obtidos, que são bastante satisfatórios e também por ser um equipamento que permite não só o aquecimento e arrefecimento, mas também por auxiliar no processo de ventilação do edifício.

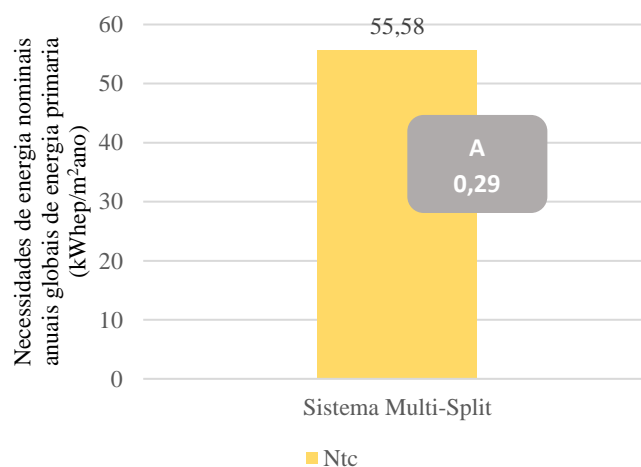


Figura 47 Necessidades de energia nominais anuais globais de energia primária (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>ano) e classe energética com a utilização do Multi-Split

#### 5.4.2.4.1. Análise económica

A Tabela 31 apresenta a análise económica do sistema multi-split, bem como os consumos de energia anualmente.

Tabela 31 Análise económica do sistema multi-split

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo da energia (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1</b> - Sistema Multi-Split 4x1	2 945,00	1 402,41	<b>Aquecimento</b> 64,45 <b>Arrefecimento</b> 1096,89	-	-
<b>Instalação multi-split</b>	830,00	-			
<b>Total</b>	<b>3775,00</b>	<b>1 402,41</b>	<b>1 161,34</b>		

#### 5.4.2.5. Análise/ verificação de possíveis medidas de melhoria

A Tabela 32 apresenta o conjunto de combinações das soluções testadas a serem testadas e verificar se realmente são potenciais soluções de melhoria.

Tabela 32 Combinações das soluções de melhoria

<b>Solução 1</b>	Bomba de calor ar/água com depósito integrado + painel solar térmico
<b>Solução 2</b>	Multi-Split com painéis fotovoltaicos para autoconsumo; Termossifão com esquentador a gás natural
<b>Solução 3</b>	Multi-Split com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo; Termossifão com esquentador a gás natural
<b>Solução 4</b>	Bomba de calor água/água (AQS aquecimento e arrefecimento); Pannel solar térmico (área de abertura – 2,3m <sup>2</sup> )
<b>Solução 5</b>	Bomba de calor água/água (AQS, aquecimento e arrefecimento) com painéis solares fotovoltaicos com autoconsumo; Pannel solar térmico (área de abertura – 2,3m <sup>2</sup> )
<b>Solução 6</b>	Bomba de calor água/água (aquecimento e arrefecimento); Termossifão com esquentador a gás natural

A Figura 48 apresenta os resultados obtidos aquando da introdução das medidas de melhoria. Relativamente à utilização da bomba de calor ar/água combinada com o painel solar térmico, verifica-se que esta se apresenta com classe A. Comparando esta solução com a solução de arrefecimento – sistema multi-split –, verifica-se que a classe se manteve, no entanto, em termos numéricos, a eficiência energética diminuiu. Isto acontece, porque efetivamente, a bomba de calor ar/água apresenta uma maior eficiência para aquecimento (COP=4,08) do que para arrefecimento (EER=2,90), enquanto que o sistema multi-split, apresenta uma maior eficiência para arrefecimento (EER=5,10) do que para aquecimento (COP=3,08). Para além disso, também na quantidade de energia produzida a partir de fontes renováveis, se verifica que esta é maior quando se utiliza o termossifão e esquentador como equipamento apoio, do que a combinação da bomba de calor com o painel solar térmico.

Analisando agora as soluções onde se considera o sistema multi-split e a introdução dos painéis fotovoltaicos, verifica-se que as classes obtidas são iguais, no entanto a solução que considera o autoconsumo, apresenta uma eficiência ligeiramente superior. A solução em que não se utiliza a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos para autoconsumo, não apresenta qualquer diferença ao nível de eficiência energética, pelo que, só é notória a sua diferença em termos económicos.

Tal como no caso de estudo anterior, também neste edifício se pretendeu avaliar a eficiência das bombas de calor água/água (geotérmicas). Assim, permite verificar em que zonas de Portugal, é mais eficiente utilizar este tipo de bombas de calor – se em lugares mais frios (Leiria) ou em lugares com temperaturas mais elevadas (Évora). Verificaram-se da mesma forma duas bombas de calor água/água. A primeira bomba (solução 4), está apta na produção de AQS e também no aquecimento e arrefecimento do edifício. A segunda bomba (solução 6), apenas está apta para aquecimento e arrefecimento. O que se verificou foi que ambas apresentam a mesma classe, sendo que a primeira bomba é ligeiramente mais eficiente do que a segunda, colmatando maiores necessidades de energia primária. Notou-se também que a utilização da bomba de calor para produção de AQS, permitiu uma produção de quantidade de energia a partir de fontes renováveis muito maior, do que a utilização do termossifão com o esquentador como equipamento de apoio.

Analisando as soluções anteriormente descritas, verificou-se a medida que poderia apresentar um maior potencial de melhoria. Assim, foram introduzidos painéis fotovoltaicos, à solução 4, para verificar se realmente a solução poderia sofrer alterações positivas. Apresenta-se assim, na Figura 48, a solução 5. Verificou-se que efetivamente a classe subiu ligeiramente a eficiência energética, mantendo-se na classe A. No entanto houve um decréscimo das necessidades de energia primária, de quase 4 kWh/m<sup>2</sup>ano.

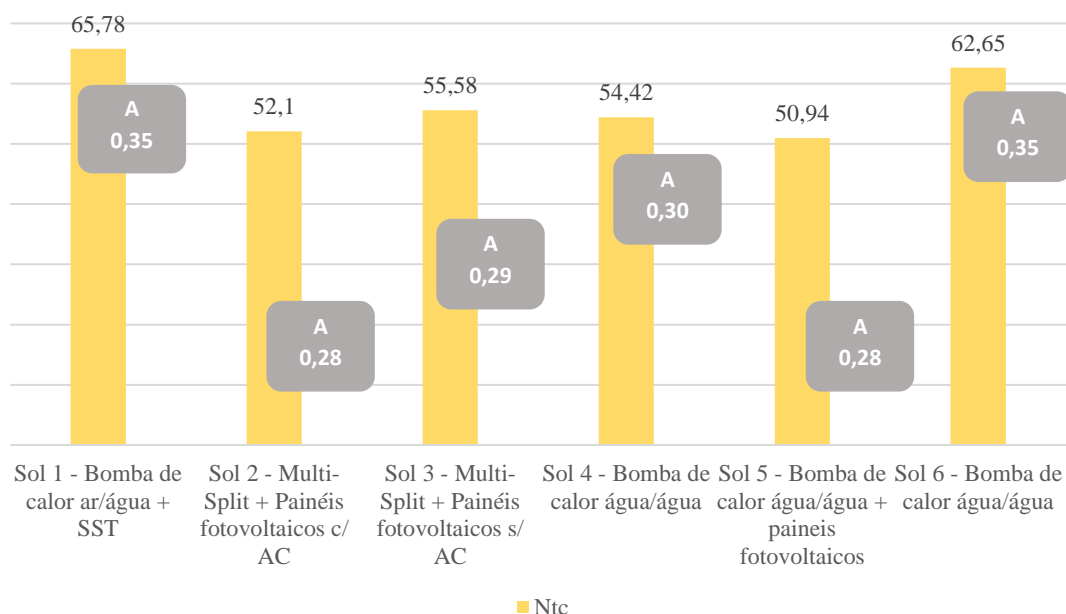


Figura 48 Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m<sup>2</sup>ano) e classe energética com a introdução de novos equipamentos

#### 5.4.2.5.1. Análise económica

À semelhança do que aconteceu no caso de estudo 1, também no presente caso de estudo se realizou a análise económica das soluções anteriormente estudadas. Para isso, consideraram-se os consumos de energia que cada solução requer para o seu funcionamento. A análise económica das soluções 2 e 3, apenas considera o período de retorno necessário, para recuperar o custo de investimento dos painéis fotovoltaicos, admitindo que já se tinha instalado o sistema multi-split e o termossifão (com esquentador como equipamento de apoio).

A Tabela 33 permite verificar que a solução que apresenta maiores consumos energéticos são as soluções 1 e 6, sendo que os menores custos são representados pelas soluções 5 e 4.

Na solução 2, introduzem-se os painéis solares fotovoltaicos para compensar os custos da energia elétrica para arrefecimento, com o sistema multi-split. Nesta solução considera-se que 291 kWh/ano são para autoconsumo e 726 kWh/ano é injetado na rede. Verifica-se que o custo anual do consumo elétrico, reduzia apenas cerca de 5€ por ano, resultando num ganho global de 257,93 euros por ano. No entanto, é possível verificar que quando se utilizam os painéis fotovoltaicos para venda total da energia produzida (cerca de 1017 kWh/ano) o período de retorno é de cerca de sete anos, sendo que se ganha aproximadamente 130 euros, anualmente, a mais, quando comparada com a solução anterior. Esta diferença pode ser vista como o custo que se tem no consumo elétrico por ano (cerca de 74 euros) e ainda existe algum lucro.

Na solução 5, por sua vez, introduzem-se os painéis fotovoltaicos, mas desta vez, para compensar os custos da energia elétrica obtida da utilização da bomba de calor água/água. De forma semelhante ao que aconteceu no multi-split, também nesta solução foram averiguadas duas situações – com e sem autoconsumo. Verificou-se que, quando se utilizam os painéis fotovoltaicos para autoconsumo, apresenta-se um ganho de cerca de 250 euros (já contabilizando o custo que se tem com os consumos da energia anual). No entanto, quando se opta, pela venda da totalidade da energia produzida, à rede, resulta num ganho anual de cerca de 420 euros. Portanto, acredita-se que, a utilização dos painéis solares fotovoltaicos, para a venda total da energia produzida à rede, se torna muito mais benéfico, do que utilizar parte dessa energia para autoconsumo.

Tabela 33 Análise económica das medidas de melhoria

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo da energia (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1</b> – Bomba de calor ar/água c/ depósito	7 965,58	5 097,97	Aquecimento 60,02	-	-
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	Sem informação	Arrefecimento 1929,02		
7 Ventiloconvetores	465,92	79,24	AQS 97,69		
			Total <b>2 086,73</b>		

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo da energia (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Total</b>	9 018,5	5 177,21			
<b>Solução 2<sup>29</sup></b> – Multi-Split Painéis Fotovoltaicos Multi-Split (4x1)	2 945,00	1 402,41	Aquecimento 1018,32 Arrefecimento 64,45	AQS 527,01 Ganho 257,93	Solução global 10,51
Instalação multi-split	830,00	-	AQS 49,41	Total <u>784,94</u>	PF 10,47
Painéis Fotovoltaicos (PF)	2 700,00	405,00	Total <b>1 132,18</b>		
Termossifão + esquentador	1 771,62	974,03			
<b>Total</b>	8 246,62	2 781,44			
<b>Solução 3<sup>30</sup></b> – Multi-Split Painéis Fotovoltaicos Multi-Split (4x1)	2 945,00	1 402,41	Aquecimento 64,45 Arrefecimento 1096,89	AQS 527,01 Ganho 423,12	Solução global 8,68
Instalação multi-split	830,00	-	AQS 49,41	Total <u>950,13</u>	PF 6,38
Painéis Fotovoltaicos (PF)	2 700,00	405,00	Total <b>1 210,75</b>		
Termossifão + esquentador	1 771,62	974,03			
<b>Total</b>	8 246,62	2 781,44			
<b>Solução 4</b> – Bomba de calor água/água	11 741,31	7 514,44	Aquecimento 53,24 Arrefecimento 1118,83	-	-
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	Sem informação	AQS 47,15		
Elementos de difusão: 7 ventiloconvetores	465,92	79,24	Total <b>1 219,22</b>		
<b>Total</b>	12 795,00	7 593,68			
<b>Solução 5<sup>31</sup></b> – Bomba de calor água/água	11 741,31	7 514,44	Aquecimento 53,24	AQS 523,4	Solução global
<b>Painéis fotovoltaicos</b>	2 700,00	405,00	Arrefecimento 1040,26	Ganho 250,11	20,61
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	Sem informação	AQS 47,15	Total <u>773,51</u>	PF 10,80
Elementos de difusão: 7 ventiloconvetores	465,92	79,24	Total <b>1 140,65</b>		
<b>Total</b>	15 945,05	7 998,68			
<b>Solução 5<sup>32</sup></b> – Bomba de calor água/água	11 741,31	7 514,44	Aquecimento 53,24 Arrefecimento	AQS 523,4	Solução global

<sup>29</sup> Nesta solução, calculou-se o período de retorno dos painéis fotovoltaicos (PF) individualmente – para o caso de uma habitação já possuir os restantes equipamentos – e também o período de retorno do conjunto.

<sup>30</sup> Nesta solução, calculou-se o período de retorno dos painéis fotovoltaicos (PF) individualmente – para o caso de uma habitação já possuir os restantes equipamentos – e também o período de retorno do conjunto.

<sup>31</sup> Com painéis fotovoltaicos para autoconsumo.

<sup>32</sup> Com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo.

Solução	Custo Investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Consumo da energia (kWh/ano)	Redução da Fatura Anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Painéis fotovoltaicos</b>	2 700,00	405,00	1118,83 AQS 47,15 Total <b>1 219,22</b>	Ganho 421,59  Total <u>944,99</u>	16,87  PF 6,40
Painel solar térmico – área de abertura – 2,3m <sup>2</sup>	587,82	Sem informação			
Elementos de difusão: 7 ventiloconvetores	465,92	79,24			
<b>Total</b>	15 945,05	7 998,68			
<b>Solução 6 – Bomba de calor água/água</b>	3 055,84	1 955,14	Aquecimento 53,24 Arrefecimento 1 770,31 AQS 49,41 Total <b>1 872,96</b>	-	-
Termossifão + Esquentador	1 771,62	974,03			
Elementos de difusão: 7 ventiloconvetores	465,92	79,24			
<b>Total</b>	5 293,38	3 008,41			

A Figura 49, apresenta o *ranking* das medidas de melhoria tendo em conta a sua eficiência energética, bem como os consumos de energia. Note-se que, para efeitos de contabilização dos consumos, se consideraram todas as vertentes (aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias). Como tal, analisa-se os consumos de cada solução, como um todo. Percebe-se que as duas melhores soluções em termos de eficiência energética são as soluções 5 e 2. Correspondem às soluções que utilizam os painéis fotovoltaicos para autoconsumo. No entanto, as soluções 3 e 4, que utilizam os mesmos equipamentos que as soluções 5 e 2, apesar de não utilizarem os painéis fotovoltaicos, apresentam a mesma classe de eficiência energética, embora, ligeiramente inferior. Ao nível dos consumos energéticos, as melhores soluções dizem respeito à solução 2 e solução 5, em que são introduzidos os painéis fotovoltaicos para autoconsumo. As soluções que representam a eficiência energética mais baixa e consumos de energia mais elevados são as soluções 1 e 6. Portanto, da análise económica efetuada anteriormente, bem como do estudo ao ranking, existem duas soluções que podem ser implementadas na habitação. Se consideramos pré-instalação de aquecimento central na habitação, acredita-se que, a solução 5, apresenta resultados favoráveis à sua adoção. No entanto, ainda deve ser considerado o facto, que esta solução implica que se façam furos geotérmicos no terreno, que resulta num custo de investimento maior. Contudo, acredita-se que, a combinação dos painéis fotovoltaicos com bomba de calor água/água, pode auxiliar no retorno do custo de investimento. Caso não se pretenda a pré-instalação de aquecimento central, a utilização do sistema multi-split, aliado aos painéis solares fotovoltaicos (sem autoconsumo) também resulta numa classe de eficiência alta, cujos consumos de energia da habitação, são logo cessados pela venda da energia produzida à rede.

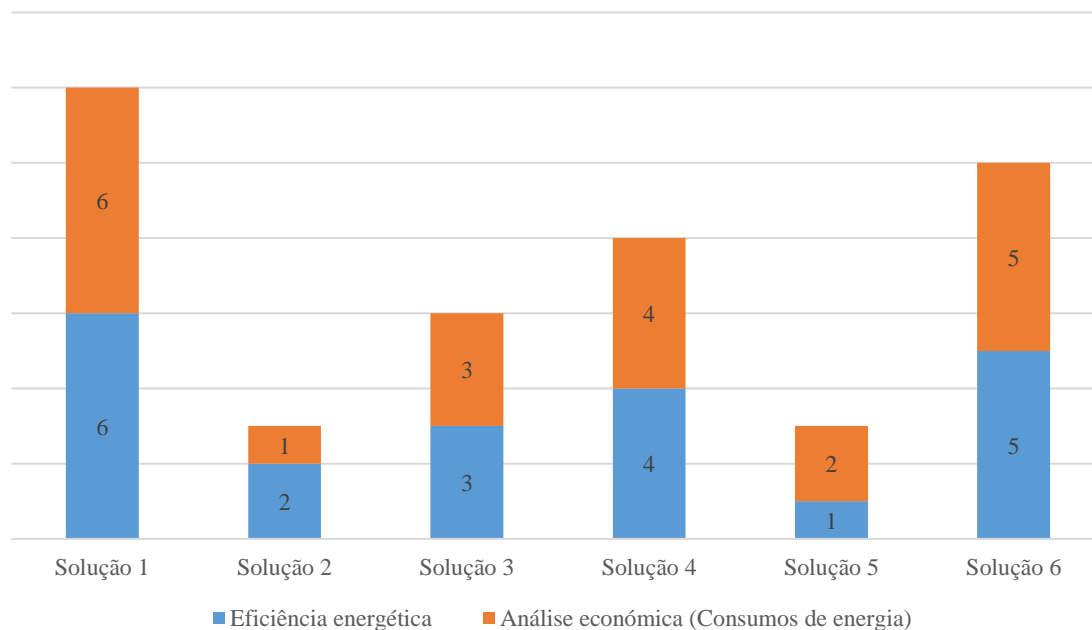


Figura 49 Ranking de eficiência energética e análise económica das medidas de melhoria (1-6)

#### 5.4.2.6. Discussão e considerações do caso de estudo 2

No presente caso de estudo, começou-se por introduzir as soluções construtivas do edifício, tal como aconteceu no caso de estudo anterior. Adotaram-se soluções correntes e utilizadas na construção atualmente. A classe de eficiência energética resultante da introdução das soluções foi a classe A. No entanto, a ventilação não cumpria os requisitos mínimos, e como tal, foi necessário verificar a melhor solução de forma a satisfazer as necessidades de ventilação. Tal como aconteceu no caso de estudo 1, também aqui se simularam duas soluções: a solução híbrida e a solução mecânica. A primeira solução foi aquela que se verificou ser a mais eficiente e mais económica a adotar.

Relativamente aos sistemas de produção de águas quentes, simularam-se exatamente os mesmos sistemas, para que fosse possível, posteriormente, a sua comparação e possíveis diferenças, por se tratar de cidades diferentes de implantação do edifício. Verificou-se que pelas mesmas razões, o termosifão com o esquentador como equipamento de apoio, era a melhor solução a adotar. Dada a localização do edifício em estudo, verifica-se que as reduções da fatura energética são maiores em Évora do que em Leiria, devido à radiação solar, ser mais intensa na primeira cidade.

Por se tratar de um edifício com maiores necessidades de arrefecimento, utilizou-se o equipamento que é mais utilizado para cessar esta necessidade, no contexto nacional: o multi-split, também conhecido como bomba de calor ar/ar. Contudo, apesar do edifício apresentar maiores necessidades de arrefecimento, acredita-se que em Portugal, há sempre a necessidade de aquecer o ambiente. Como tal, e aproveitando a versatilidade do *multi-split*, simulou-se o equipamento para cessar ambas as necessidades. A simulação deste equipamento permitiu que se obtivesse a classe de eficiência A.



Como medidas de melhoria, introduziram-se novos equipamentos para avaliar a sua eficiência. Percebeu-se que aquelas que resultam na maior eficiência e consumos de energia mais baixos são o sistema *multi-split* e a bomba de calor água/água (para produção de AQS, aquecimento e arrefecimento) aliados aos painéis solares fotovoltaicos (sem autoconsumo).

## 5.5. Análise e comparação dos dois casos de estudo

### 5.5.1. Pré- implementação dos sistemas ativos de climatização

Nesta secção apresenta-se a comparação dos dois casos de estudo, mostrando algumas situações que se consideraram importantes de analisar. Nesta fase, analisaram-se os dados obtidos apenas com a melhoria das soluções construtivas – aplicação das soluções passivas no edifício reabilitado – e introdução das soluções construtivas atualmente utilizadas na construção, bem como com a satisfação das necessidades de ventilação, e introdução do sistema de produção AQS. Desta forma, analisou-se a classe de eficiência energética do edifício, sem considerar os sistemas ativos de climatização.

Na Tabela 34, apresenta-se a classe de eficiência energética de cada edifício, tendo em conta apenas as soluções construtivas. Verifica-se que, quando se estudam na fase de projeto as soluções construtivas otimizadas – edifício novo –, a eficiência energética apresenta-se duas classes acima do edifício reabilitado. No entanto, é importante referir que, apenas com a introdução das melhorias passivas no edifício de Leiria, a classe subiu de imediato duas classes na escala de classificação energética. Analisando-se agora, o caudal necessário para a satisfação do cumprimento da ventilação, percebe-se que, o edifício reabilitado é o que requer um maior número de renovações horárias de ar, para cumprir os requisitos mínimos. Isto acontece porque, ao nível dos envidraçados, utilizaram-se janelas sem classe de permeabilidade ao ar – não foram realizados ensaios normalizados pelas normas de ensaio (EN 1026) e de classificação (EN12207) – sendo que no edifício reabilitado, as janelas apresentam classe de permeabilidade 4 (classe mais baixa de permeabilidade ao ar).

Tabela 34 Dados resultantes da introdução das soluções construtivas (edifício novo) e melhorias passivas (reabilitado), caudal mínimo de ventilação e energia produzida para produção AQS (Eren AQS)

	<b>Projeto de Reabilitação - Leiria</b>	<b>Edifício Novo - Évora</b>
Classe energética com a introdução das melhorias passivas/soluções construtivas	B- ( $N_{tc}/N_t=0,94$ )	A ( $N_{tc}/N_t=0,45$ )
Satisfação das necessidades de ventilação (caudal mínimo para cumprir requisitos) ( $m^3/h$ )	420,61	379,9
Energia produzida, a partir de fontes renováveis, para produção de AQS (Eren AQS) (kWh/ano)	1733	1809

Note-se agora para a quantidade de energia produzida a partir de fontes renováveis para produção AQS. Utilizou-se o mesmo sistema solar térmico nos dois edifícios, no entanto, em Évora, a radiação solar torna-se mais intensa do que em Leiria, resultando no aumento da energia produzida na primeira cidade. Os três parâmetros analisados permitem que se obtenha os resultados que se apresentam na Figura 50.

Verifica-se que, as necessidades nominais anuais globais de energia primária (Ntc) no edifício reabilitado apresenta mais do dobro das necessidades do edifício novo. Efetivamente, aquela que apresenta melhor classe de eficiência energética, é o edifício construído em Évora. No entanto, deve ressaltar-se o facto de que ambos os edifícios, se apresentam dentro do intervalo de classes, admitido para o tipo de edifício que representa. Segundo o Decreto-Lei atualmente em vigor, [72], os edifícios novos, devem apresentar uma classificação energética entre A+ e B-, e nos edifícios de grande intervenção, o limiar inferior desce para C. Como tal, verifica-se que os dois projetos, mesmo antes de se considerarem sistemas ativos de climatização, conseguem apresentar uma classe de eficiência energética bastante satisfatória e ainda, apresentar necessidades de energia úteis (de aquecimento e arrefecimento) inferiores às necessidades de referência apresentadas para cada edifício.

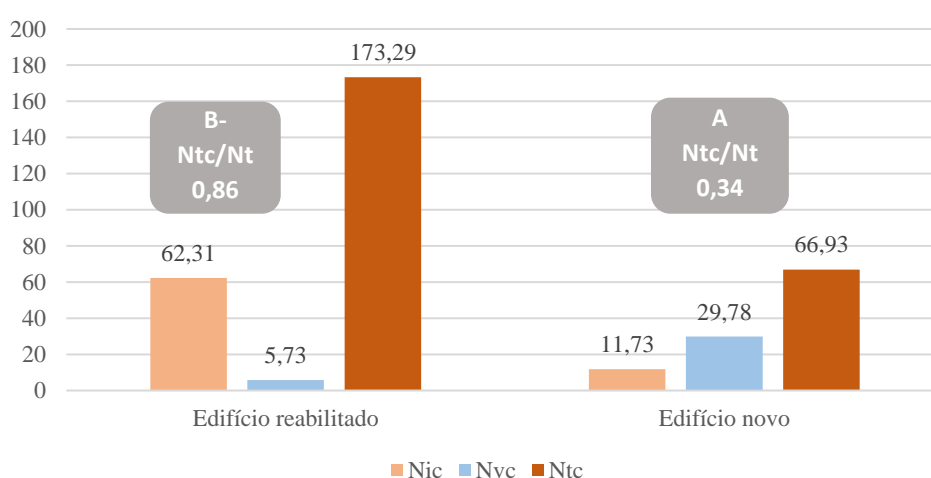


Figura 50 Dados resultantes para obtenção da eficiência energética dos dois edifícios

### 5.5.2. Pós- implementação dos sistemas ativos de climatização

Nesta fase de análise, pretende-se verificar os consumos que se obtém para suprimir as necessidades de aquecimento/ arrefecimento nos dois edifícios. Para isso apresenta-se na Figura 51 e Figura 52, os custos anuais resultantes da adoção de cada sistema. Os custos resultam do consumo da energia que requer cada equipamento para cessar as necessidades da habitação. Os consumos de energia podem ser mais ou menos eficientes, dependendo do coeficiente de desempenho que cada um apresenta, que dita o custo da energia final. Assim, a Tabela 35, apresenta os coeficientes de desempenho dos equipamentos simulados, utilizando como fontes de energia o gás natural, a eletricidade e a biomassa.

Recorde-se que, no edifício de reabilitação, existia uma maior necessidade de aquecimento, e verificou-se que, tendo em conta as soluções estudadas/ simuladas, aquelas que ofereciam uma maior relação custo/benefício – tendo em conta os dois contextos que foram admitidos: existência ou não, de pré-instalação de aquecimento central- foram as seguintes:

- Sem pré-instalação de aquecimento central – sistema multi-split com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo;
- Com pré-instalação de aquecimento central (1) – combinação da caldeira com sistema solar térmico para aquecimento e águas quentes sanitárias;
- Com pré-instalação de aquecimento central (2) – salamandra a biomassa para aquecimento e águas quentes sanitárias.

Relativamente ao edifício novo, construído em Évora, as maiores necessidades verificavam-se ao nível do arrefecimento do edifício, no entanto, considerou-se que também devia existir uma pequena parcela afeta às necessidades de aquecimento, porque em Portugal, há sempre a necessidade de aquecimento que deve ser considerada. Assim, das soluções estudadas para este caso de estudo, aquela que resulta na melhor a adotar, com e sem pré-instalação de aquecimento central são:

- Sem pré-instalação de aquecimento central - Sistema multi-split com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo.
- Com pré-instalação de aquecimento central – Bomba de calor água/água (geotérmica) para AQS, aquecimento e arrefecimento e painel solar térmico.

No âmbito do edifício reabilitado, apresentam-se na Figura 51 as soluções destacadas. Os consumos de energia elétrica para aquecimento através do sistema multi-split, eram cerca de 1000 kWh/ano a mais do que o solicitado pela caldeira para aquecimento central e produção AQS. Isto acontece, porque efetivamente, o coeficiente de desempenho para aquecimento (COP) da caldeira é superior ao sistema multi-split. No entanto, com a introdução dos painéis fotovoltaicos, para compensação dos custos elétricos, verificou-se que o custo anual resultante da utilização do multi-split é cerca de 115 e 25 euros a menos, quando comparada com a caldeira e salamandra a biomassa, respetivamente. Aqui, percebe-se o potencial que existe, quando se investe nos painéis fotovoltaicos, cujo objetivo seja a venda total da energia produzida à rede.

Pode verificar-se ainda, que a utilização da salamandra como apoio ao sistema solar térmico, é a solução que apresenta menores custos para produção de águas quentes. De facto, analisando o coeficiente de desempenho para produção AQS, da salamandra a biomassa e da caldeira a gás natural, o COP revela-se maior, no primeiro equipamento. No entanto, a diferença do custo anual entre os sistemas de apoio apresentados, não são relevantes, quando todo o conjunto das soluções é comparado com os equipamentos por defeito. Percebe-se que a utilização da energia renovável térmica se espelha efetivamente na redução dos custos anuais para produção de águas quentes sanitárias.

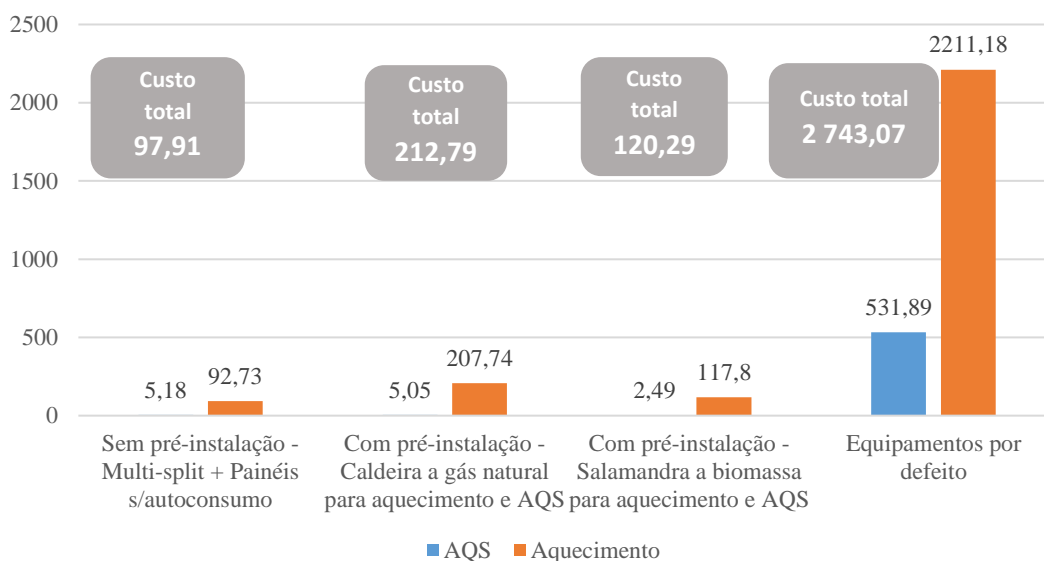


Figura 51 Custos anuais com os equipamentos escolhidos para o edifício reabilitado (€/ano)

No entanto, os consumos apresentados na Figura 51, não englobam o custo de investimento inicial dos equipamentos, sendo que os mesmos apresentam o custo após se atingir o respetivo período de retorno. Na solução que considera o multi-split e os painéis fotovoltaicos para autoconsumo, deve adicionar-se ao valor do custo total, 1 030 euros anualmente, durante aproximadamente oito anos (período de retorno da solução global). Assim, o custo total anualmente, passa a ser de 1 128 euros. Relativamente à solução que considera a caldeira a gás natural, existe um custo adicional de 2 525,52 euros, resultando num custo final de 2 738,00 euros durante aproximadamente três anos. Quanto à ultima solução, o custo a acrescentar é de 2 619 euros, que dá um total de 2 739 euros, durante três anos. Verifica-se que a melhor economicamente é a primeira solução.

Analisando agora os sistemas escolhidos para o edifício novo, apresentados na Figura 52, podem retirar-se também algumas conclusões. Antes de analisar particularmente cada sistema, note-se nos custos das duas soluções destacadas, e compare-se com os custos obtidos no edifício reabilitado. Percebe-se claramente que as soluções do edifício reabilitado apresentam maiores custos anuais totais. Daqui, verifica-se a importância da envolvente construtiva do edifício e a sua influencia no controlo das necessidades de energia. Como tal, é essencial, em fase de projeto, verificar as soluções construtivas que promovem a melhor eficiência energética do edifício, privilegiando assim, as soluções passivas. Analisando agora a solução que utiliza o sistema *multi-split* com os painéis fotovoltaicos, percebe-se que apenas se apresentam os custos para produção AQS (considerando o termosifão com esquentador como equipamento de apoio) e os custos de aquecimento. Note-se que, ao contrário do que aconteceu no edifício reabilitado, aqui não existe custo associado ao arrefecimento. Uma vez que, a venda total da energia produzida a partir da renovável elétrica, permitiu que cobrisse esse custo. Isto acontece porque, as células solares dos painéis, produzem mais energia em Évora do que em Leiria, através da captação

da luz solar – em Évora produz-se cerca de 30 kWh/ano a mais – de lembrar que se utilizou o mesmo painel solar fotovoltaico – marca e modelo – nos dois edifícios).

Verificando agora a solução que utiliza a bomba de calor água/água combinada com os painéis solares fotovoltaicos, percebe-se que apresenta um custo ligeiramente superior ao verificado na solução anterior, no entanto também considerado economicamente aliciante. Ao nível da produção de águas quentes, percebe-se que existe um maior custo associado, na segunda solução. Isto acontece porque o coeficiente de desempenho do esquentador (primeira solução) é superior ao da bomba de calor água/água, traduzindo-se assim, na eficiência com que utiliza a energia. Percebe-se que a bomba de calor água/água revela-se uma solução bastante eficiente e com custos de energia anual bastante reduzidos. No entanto, lembra-se que, o investimento na perfuração para colocação dos furos geotérmicos, atualmente, ainda apresenta um custo considerável. Contudo, acredita-se que, a combinação com painéis fotovoltaicos, auxiliam na recuperação do custo investido na solução.

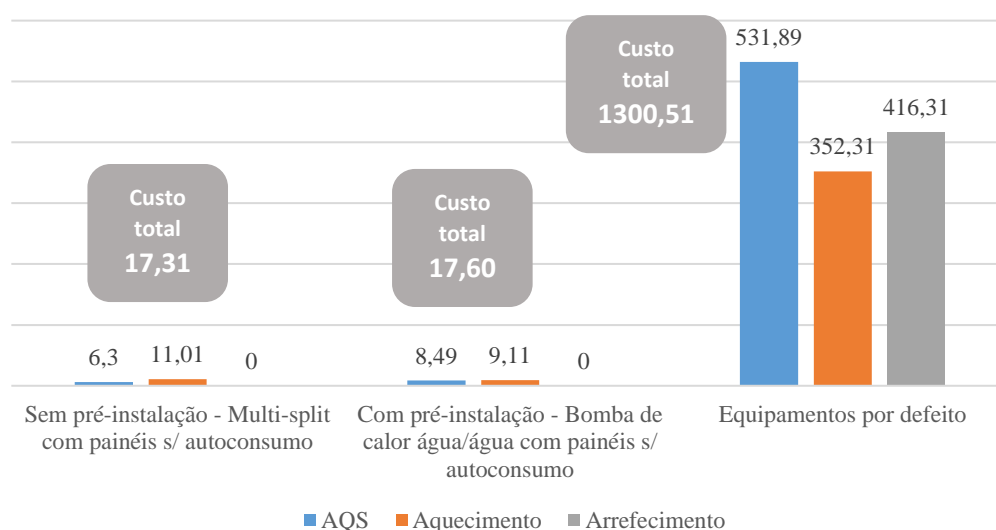


Figura 52 Custos anuais com os equipamentos escolhidos para o edifício novo (€/ano)

No entanto, tal como aconteceu no edifício reabilitado, também aqui devem ser adicionados os custos de investimento dos equipamentos das soluções. Como tal, na primeira solução, há um aumento de 950 euros, durante aproximadamente 9 anos, resultando num custo total de 967 euros anualmente. Relativamente à segunda solução, um custo de investimento inicial corresponde a 945 euros, mas neste caso, durante 17 anos, resultando num custo total de 962 euros. Verifica-se que, o custo adicional em cada solução é aproximadamente igual, no entanto, existe o fator período de retorno, em que se verifica que a segunda solução acresce em oito anos.

Tabela 35 Coeficientes de desempenho dos equipamentos simulados para os dois edifícios

Fonte de energia	Equipamento	COP (AQS)	COP	EER
Gás natural	Esquentador	5,23	-	-

	Caldeira (só aquecimento)	-	5,31	-
	Caldeira (AQS e aquecimento)	5,10	5,64	-
<b>Eletricidade</b>	Multi-split	-	3,80	5,10
	Bomba de calor ar/água	3,33	4,08	2,90
	Bomba de calor água/água (AQS e aquecimento)	4,09	4,09	-
	Bomba de calor água/água (aquecimento)	-	4,90	-
	Bomba de calor água/água (AQS, aquecimento e arrefecimento)	4,60	4,60	5
	Bomba de calor água/água (aquecimento e arrefecimento)	-	4,60	3,16
<b>Biomassa</b>	Salamandra biomassa s/ redistribuição	-	5,34	-
	Salamandra a biomassa c/ redistribuição	5,52	5,52	-
	Caldeira a biomassa	5,46	5,46	-

## 5.6. Análise SWOT

Neste subcapítulo realizou-se uma análise SWOT aos equipamentos selecionados para o edifício de reabilitação e edifício novo, tendo em conta os resultados obtidos do caso de estudo. Como tal, esta análise baseou-se nos resultados obtidos anteriormente. Para além disso, de forma a tornar a análise mais sugestiva, comparou-se dois equipamentos. A primeira análise apresentada na Tabela 36 foi realizada comparando dois equipamentos que permitem a produção de águas quentes sanitárias e aquecimento do ambiente. A segunda análise (Tabela 37), por sua vez, compara o *multi-split* para climatização e a bomba de calor água/água para produção de águas quentes sanitárias, aquecimento e arrefecimento. No entanto, no Anexo C apresentam-se as análises SWOT dos equipamentos de forma mais pormenorizada, e de acordo com a pesquisa previamente efetuada.

- Caldeira a gás natural vs Salamandra a biomassa

Tabela 36 Análise SWOT da caldeira a gás natural e da salamandra a biomassa

Forças	Fraquezas
--------	-----------

<p>Custo da caldeira a gás natural rapidamente amortizado – 2 anos<sup>33</sup> - período de retorno mais curto do que a salamandra a biomassa;  COP salamandra a biomassa = 5,52 (bom desempenho energético);  Menores consumos de energia para aquecimento;  Custo do combustível da salamandra a biomassa.</p>	<p>Caldeira a gás natural - Obrigatoriedade de gás natural na rede pública.  Custo de manutenção – mais caro do que salamandra a biomassa;  Maior consumo de energia final para produção de águas quentes sanitárias;  Reduções da fatura energética inferiores à salamandra a biomassa;  Classe de eficiência mais baixa na caldeira a gás natural  Custo do combustível do gás natural;  COP caldeira a gás natural = 5,31 – desempenho energético inferior à salamandra a biomassa.</p>
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
<p><u>Caldeira a gás natural - Versão combinada de aquecimento e produção de águas quentes sanitárias:</u>  - Menores consumos de energia;  - Maiores reduções da fatura energética;  - Subida da classe de eficiência energética;  <u>Aliado a painéis solares térmicos:</u>  Caldeira a gás natural - Redução da fatura até 2 530€ (comparado com equipamentos totalmente elétricos).  Salamandra a biomassa – Reduções da fatura até 2622€ (comparado com equipamentos totalmente elétricos)  Salamandra a biomassa: em apartamentos ou habitações mais pequenas, podem ser utilizadas sem necessidade de pré-instalação de aquecimento central.</p>	<p>Caldeira a gás natural - Este equipamento só compensa quando existe pré-instalação de aquecimento central, caso contrário, é preferível optar pelo esquentador.</p> <p>Esquentador – custo de aquisição mais baixo;</p> <p>Apenas consome energia quando a água quente está a ser utilizada (coeficiente de desempenho mais elevado).</p>

- Multi-split/ vs Bomba de calor água/água

Tabela 37 Análise SWOT do multi-split e bomba de calor água/água

<b>Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
<p>Bomba de calor água/água – classe de eficiência mais elevada;  Bomba de calor água/água – menores consumos de energia para produção de AQS com bomba de calor água/água<sup>34</sup>;  Multi-split – EER=5,50 – coeficiente de desempenho mais elevado;  Bomba de calor água/ água – EER = 5 – coeficiente de desempenho mais elevado;  Multi-split e bomba de calor água/água – fonte de energia parcialmente renovável.</p>	<p>Multi-split – maiores consumos de energia para aquecimento;  Bomba de calor água/água – maiores consumos de energia para arrefecimento;  Bomba de calor água/água – maiores períodos de retorno;  Bomba de calor água/água – maior custo de instalação, investimento inicial e manutenção.</p>
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
<p>Bomba de calor água/água com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo – utilização da renovável elétrica - .  Bomba de calor água/água combinada com painel solar térmico – utilização da renovável térmica;  Multi-split com painéis fotovoltaicos sem autoconsumo.</p>	<p>Bomba de calor água/água: Apesar de se tratar de um equipamento com um bom desempenho energético, percebe-se que, dado o leque de sugestões economicamente mais satisfatórias, esta solução ainda é pouco usual em Portugal. No entanto, é uma solução que eleva a classe de eficiência energética, principalmente se a necessidade é arrefecer o edifício.</p>

<sup>33</sup> Dado retirado da análise económica do projeto de reabilitação.

<sup>34</sup> Menores consumos de energia para produção de águas quentes sanitárias, quando comparada com a combinação do esquentador e termossifão, da solução multi-split.

## 6. CONCLUSÕES FINAIS

O conforto térmico e a qualidade do ar interior, são sem dúvida, aspetos que devem sempre estar presentes na fase de projeto de um edifício, sendo fatores decisivos na qualidade de vida, na melhoria do rendimento no trabalho e também na interação saudável com os outros. No entanto, percebeu-se que, para atingir o conforto desejado, recorre-se frequentemente a sistemas ativos, que elevam o consumo da energia dos edifícios. Contudo, o desenvolvimento da presente dissertação, permitiu perceber e comprovar que, é possível diminuir drasticamente o consumo energético e consecutivamente as emissões de carbono. Para isso, deve-se, desde logo, adotar medidas de melhoria passivas ao nível dos elementos construtivos, bem como, assegurar o cumprimento dos requisitos de ventilação para o edifício, de forma a garantir a qualidade do interior. Os sistemas ativos, atuam de seguida, complementando essas necessidades de energia, de forma equilibrada e eficiente. Acredita-se assim, que após 2020, se atinjam consumos energéticos e emissões de carbono, quase nulas, tal como é estipulado pela nova diretiva EPBD Recast. No entanto, deve-se numa primeira análise investir na reabilitação dos edifícios existentes.

O caso de estudo do projeto de reabilitação de um edifício em Leiria, comprovou que, efetivamente, a implementação das medidas de melhoria ao nível dos elementos construtivos, como a envolvente opaca, permitiu reduzir as necessidades de energia úteis para cerca de metade, traduzindo-se na subida de duas classes na escala da eficiência energética do edifício. Aqui verificou-se assim o potencial de melhoria existente, apenas com recurso a soluções passivas, para reabilitação.

No caso de estudo do projeto para um edifício novo, utilizaram-se soluções construtivas otimizadas e correntemente utilizadas na construção. O comportamento térmico destas soluções, ao contrário do que aconteceu no edifício a reabilitar, já apresentavam características de comportamento térmico que se espelharam numa classe de eficiência energética mais alta (Classe A), e que se repercutiram na diminuição dos consumos energéticos, aquando da utilização de sistemas ativos. Assim, é fundamental, na fase de projeto, adotar soluções construtivas eficientes e otimizadas, para garantir que não existem perdas nem ganhos térmicos indesejados pela envolvente do edifício, e não existam grandes necessidades de aquecimento nem arrefecimento da habitação.

A ventilação mecânica com recuperador de calor, trata-se de uma solução que a norma *Passivhaus* incentiva à sua implementação. Esta solução, no edifício reabilitado, não permitiu verificar diferenças nas necessidades de energia, que justificasse a sua utilização. No edifício novo, percebeu-se que, como apresentava necessidades de energia mais baixas, a recuperação do calor do ar extraído, conseguia colmatar alguma quantidade da energia necessária para aquecimento, ainda assim, foi pouco notória. Assim, concluiu-se que esta solução, poderá trazer mais vantagens e ser mais eficiente, em edifícios que apresentem necessidades de energia quase nulas, para que o calor recuperado do ar extraído seja suficiente para colmatar as necessidades de aquecimento.



Apenas com a implementação das soluções passivas, no projeto de reabilitação, bem como na introdução das soluções otimizadas, no projeto novo, e também com a satisfação das necessidades de ventilação e preparação de águas quentes sanitárias, os dois edifícios apresentaram necessidades de energia úteis inferiores às de referência e classes de eficiência energética dentro do intervalo estipulado para o tipo de edifício que são. No entanto, acredita-se que a conjugação de soluções passivas e sistemas ativos, quando estudados e dimensionados de forma eficiente, podem resultar numa maior eficiência energética do edifício.

Relativamente aos sistemas mais utilizados pelas famílias portuguesas, verificou-se que o equipamento utilizado para arrefecimento – sistema *multi-split* – e o equipamento que serve de apoio ao sistema solar térmico – esquentador – apresentaram-se como sendo boas soluções a implementar nos edifícios. A caldeira apenas utilizada para aquecimento da habitação não foi considerada uma das mais eficientes, na medida em que, quando existe necessidades de preparação de AQS e aquecimento, a combinação da caldeira para suprimir as duas necessidades, torna-se bastantes mais eficiente de ser utilizada, apresentando menores custos associados.

Também se introduziram painéis fotovoltaicos para a compensação dos custos anuais, através da produção da renovável elétrica. Contudo, o investimento em painéis fotovoltaicos, nos dois casos de estudo, permitiu verificar, que efetivamente só compensa se o objetivo é injetar toda a energia produzida na rede. Atualmente, devido ao custo elevado dos painéis fotovoltaicos, verificou-se que ainda não é possível garantir o benefício da sua utilização, pelo menos, para o autoconsumo.

O desenvolvimento da dissertação permitiu perceber ainda que apesar de existirem no mercado, cada vez mais equipamentos e soluções que colmatam as necessidades de climatização, é sempre importante avaliar e verificar o seu coeficiente de desempenho energético, na medida em que, é este valor que ditará os custos anuais no consumo de energia.

Acredita-se que para trabalhos futuros, poderia realizar-se a mesma abordagem efetuada na presente dissertação, mas considerando uma tipologia de edifício diferente, ou mesmo um edifício multifamiliar. De forma a obter necessidades de energia úteis diferentes, a implementação do edifício reabilitado seria em Évora, e o edifício novo, em Leiria. Para além disso, podiam escolher-se novas soluções – ao nível da envolvente do edifício, bem como no âmbito dos sistemas ativos – de forma a testar a sua aplicabilidade e eficiência, comparando-as com as soluções habituais.

## Referências Bibliográficas

- [1] M. Loureiro and R. Mateus, “Moradias sobredimensionadas dos anos 70 - 90 na periferia de Braga : Processo de transformação,” in *Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities*, L. Bragança, A. Yuba, and C. Alvarez, Eds. Guimarães, 2015.
- [2] UNDP, *Humand development report 1998*. New York: United Nations Development Programme (UNDP), 1998.
- [3] H. S. Almeida, “Análise do conforto térmico de edificios utilizando as abordagens analítica e adaptativa,” Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [4] M. Cerveira, “Sistemas Térmicos de Energia Solar,” Mestrado em Engenharia Eletrónica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2012.
- [5] B. Chenari, J. Carrilho, and M. Gameiro Da Silva, “Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1426–1447, 2016.
- [6] M. D. Pinheiro, *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*, Insituto d. Instituto do Ambiente Amadora, 2006.
- [7] R. N. Coutinho, “Relação entre o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação com o Conceito de Edifício com Necessidades Quase Nulas de Energia,” Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [8] *IPCC Fourth Assessment Report climate system 1960 is*. IPCC Fourth Assessment Report, Synthesis Report; Climate change 2007.
- [9] and K. Y. Rangan Banerjee, Sally M. Benson, Daniel H. Bouille, Abeeku Brew-Hammond, Aleh Cherp, Suani T. Coelho, Lisa Emberson, Maria Josefi na Figueroa, Arnulf Grubler, Mark Jaccard, Suzana Kahn Ribeiro, Stephen Karekezi, Kebin He, Eric D. Larson, Zheng Li, Susan M, “Global Energy Assessment Toward a Sustainable Future,” 2012.
- [10] M. Hecher, S. Hatzl, C. Knoeri, and A. Posch, “The trigger matters: The decision-making process for heating systems in the residential building sector,” *Energy Policy*, vol. 102, no. November 2016, Elsevier, pp. 288–306, 2017.
- [11] F. Cunha, “Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios nZEB,” Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2015.
- [12] J. Bernardo, “Eficiência Energética nos Edifícios da Administração Pública Central,” Direção Geral de Energia e Geologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2016.
- [13] S. Guillén-Lambea, B. Rodríguez-Soria, and J. M. Marín, “Review of European ventilation strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero energy buildings (nZEB)/Passivhaus. Comparison with the USA,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, Elsevier, pp. 561–574, 2016.
- [14] “Pordata Base de Dados Portugal Contemporâneo, Disponível em: <https://www.pordata.pt/>, Acesso em: 20 de setembro de 2017.” .
- [15] “Direção Geral de Energia e Geologia. Principais Indicadores Energéticos, Fevereiro 2015. Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>.”
- [16] J. Pinheiro, C. Araújo, and L. Bragança, “Análise da aplicação de materiais de mudança de fase para armazenamento de energia em edificios Portugueses,” in *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*.
- [17] M. Amorim, Diogo; Silva, Sandra; Almeida, “Definição De Estratégias De Ventilação Natural Para Assegurar a Qualidade Do Ar Interior De Um Edifício,” *Congr. Latinoam. REHABEND*, 2014.
- [18] S. Silva, “A Sustentabilidade e o Conforto das Construções,” Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.

- [19] V. P. Martins, “A humanização e o ambiente físico hospitalar,” in *ANAIS DO I CONGRESSO NACIONAL DA ABDEH - IV Seminário de Engenharia Clínica*, 2004.
- [20] O. Corbella and S. Yannas, *Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos [2.ed.]*. Editora Revan, 2003.
- [21] P. C. P. Silva, “Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE,” Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2006.
- [22] J. Khedari, N. Yamtraipat, N. Pratintong, and J. Hirunlabh, “Thailand ventilation comfort chart,” *Energy Build.*, vol. 32, no. 3, pp. 245–249, 2000.
- [23] U. C. Berkeley, G. S. Brager, R. De Dear, and R. De Dear, “Climate , Comfort & Natural Ventilation : A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55,” *Cent. Built Environmen*, p. 19, 2001.
- [24] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto Lei nº 118 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação*. 2013.
- [25] L. C. Miquelin, *Anatomia dos edifícios hospitalares*. São Paulo: Cedas, 1992.
- [26] C. Vieira, “Conforto Térmico e Iluminação Natural no Edifício administrativo da escola de Engenharia de São Carlos/USP - O Bloco E1,” Mestrado de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.
- [27] S. Déoux and P. Déoux, *Ecologia é a saúde: o impacto da deterioração do ambiente na saúde*. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.
- [28] R. Lamberts and A. A. Paula Xavier, “Conforto e stress térmico,” Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- [29] H. M.a and N. J.F, *The Validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. 2002.
- [30] S. C. Turner *et al.*, “ANSI/ASHRAE Standard 55-2004-ASHRAE STANDARD Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004.
- [31] F. Neves, “Estudo do comportamento térmico de edifícios de habitação segundo o RCCTE e o REH,” Mestrado Em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [32] A. B. Frota and S. R. Schiffer, “Manual de Conforto Térmico,” São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- [33] O. Fanger, *Thermal Comfort- Analysis and Application in Environmental Engineering*. 1970.
- [34] L. Ferreira, “Identificação e Caracterização dos Principais Fatores que Afetam os Parâmetros que Caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios,” Universidade do Minho, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, 2012.
- [35] R. Lamberts, A. Xavier, S. Goulart, and R. Vechi, *CONFORTO E STRESS TÉRMICO*, Laboratóri. 2016.
- [36] A. Lamberts, R; Xavier, “Conforto e Stress Térmico,” Laboratório de eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- [37] American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc., ““ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,”” 2010.
- [38] Olesen, *Termal Comfort, Bruel & Kjaer, Technical Review No.2, p.3-41*. 1982.
- [39] A. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, *2013 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. 2013.
- [40] S. Magalhães, R. R. Albuquerque, J. C. Pinto, and A. L. Moreira, “Termorregulação,” *Fac. Med. da Univ. do Porto Serviço Fisiol.*, p. 20, 2001.
- [41] M. Blender, “La transmisión del calor en edificios,” 2015.
- [42] J. Carneiro, “Mecanismos de Transferência de Calor,” Universidade do Minho, Escola de Ciências,

Lincenciatura em Ciências do Ambiente, 2015.

- [43] R. Mateus, “Avaliação da Sustentabilidade da Construção,” Tese de Doutoramento, Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.
- [44] “A perda de calor do corpo para o ambiente, Disponível em: <https://www.ativo.com/saude>, Acesso em: 14 de Julho de 2017.”
- [45] M. Pimenta, Ana; Campos, Joana; Pereira, Rafaela; Oliveira, Beatriz; Neto, “Conceito de conforto térmico humano,” Projeto FEUP; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [46] Á. C. Ruas, *Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho*. 1999.
- [47] Ordem dos Arquitetos, “Green Vitruvis, A Green Vitruvis: princípios para uma arquitetura sustentável,” 2003.
- [48] M. P.N. Águas, “Energia em Edifícios,” Módulo da Disciplina de Equipamentos Térmicos, Instituto Superior Técnico, 2000.
- [49] F. Silva, A. Pinto, and J. Viegas, “Qualidade do ar interior - Ventilação natural e mista,” in *Sessões Técnicas de Edifícios*, 2013.
- [50] P. A. V. Silva, “Estudo do Conforto Térmico numa Lavandaria / Engomadoria,” Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, 2013.
- [51] M. P. . Águas, “Conforto térmico,” Módulo da Disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente, Instituto Superior Técnico, 2000.
- [52] V. Rebelo, “Estudo para a optimização dos sistemas de climatização com vista à obtenção de um edifício com baixas necessidades energéticas em climatização,” Mestrado em Energias Sustentáveis, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, 2012.
- [53] B. Asmus, “Conforto térmico em edificações comerciais localizadas em Florianópolis,” Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2015.
- [54] International Standardization Organization, “EN ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria,” 2005.
- [55] D. Coelho, “Avaliação do Conforto Térmico em salas de aula,” Instituto Politécnico de Viseu, Escolha Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, 2014.
- [56] R. Brager, G., Paliaga, G. & De Dear, “The Effect of Personal Control and Thermal Variability on Comfort and Acceptability,” ASHRAE – RP-1161 - Final Report, ASHRAE, Atlanta, USA., 2004.
- [57] Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia em Portugal,” 2016.
- [58] Escuela de Negócios e colaboração do Centro de Eficiência Energética, “Manual de Eficiência Energética.”
- [59] Direção Geral de Energia e Geologia, “Balanço Energético Sintético,” 2016.
- [60] S. Fonseca, “Caracterização do Consumo de Energia no Sector Residencial em Portugal,” Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2015.
- [61] Diário da República. 1ª Série-Nº70 -10 de abril de 2013, “Presidência do conselho de ministros, Resolução do Conselho de Ministros nº20/2013.”
- [62] J. Catarino, “A energia térmica de águas residuais na climatização de edifícios,” Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2012.
- [63] Instituto Nacional de Estatística (INE) and Direção-Geral de Energia e Geologia, *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*, INE,I.P./D. Portugal, 2011.
- [64] F. Cardoso, “Aquecimento. Pensar Sustentável, pp 54-57,” 2013.

- [65] P. Lima, “Desenvolvimento de um simulador de apoio à decisão para sistemas ativos de climatização,” Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [66] R. Frangoso, “ADENE-O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios ( SCE ),” 2013.
- [67] M. Almeida, M. Ferreira, and A. Rodrigues, “Soluções otimizadas de reabilitação de edifícios residenciais para atingir os nzeb,” 2015.
- [68] M. Almeida, “Reabilitação Energética de Edifícios Perspetiva da Engenharia Civil. 12as Jornadas de climatização O AVAC na reabilitação nos setores residencial, serviços e indústria, Universidade do Minho, Lisboa, 25 de Outubro de 2012.”
- [69] M. Almeida and M. Ferreira, “Contributos e recomendações para a revisão da regulamentação relativa à reabilitação do edificado tendo em vista os edifícios de energia quase-nula,” Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2016.
- [70] S. F. Tadeu, “Rentabilidade da reabilitação energética de edifícios,” Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2015.
- [71] A. Brandão, “Certificação Energética de Edifícios,” 2015.
- [72] “Certificação Energética de Edifícios, Disponível em: <http://www.adene.pt>, Acesso em: 20/09/2017.”
- [73] Certificação Energética e Ar Interior, “Certificado Energético Edifício de Habitação SCE97923535,” pp. 1–6.
- [74] S. F. Fernandes, “Projeto de reabilitação térmica de um edifício antigo em Viseu,” Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2016.
- [75] M. Tavares, “Apontamentos Reabilitação Térmica,” Faculdade de Arquitetura de Lisboa, 2006.
- [76] Atualidades as Últimas notícias em Destaque, “Projeto Enerbuilding-Uma utilização eficaz da energia pode melhorar as casas e o ambiente,” 2009.
- [77] A. Marques, “Análise económica dos sistemas de climatização e preparação de AQS utilizados nos edifícios residenciais,” Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2010.
- [78] “Aquecimento Central – Uma solução para o futuro. Disponível em: [http://www.lartermico.pt/index.php?mod=articles&action=viewArticle&article\\_id=139&category\\_id=43](http://www.lartermico.pt/index.php?mod=articles&action=viewArticle&article_id=139&category_id=43), Acesso em: 8 de setembro de 2017.” .
- [79] “Euroventil Aquecimento e Ventilação Lda, Disponível em: <http://www.euroventil.pt/documents/46.pdf>, Acesso em: 28 de setembro de 2017.”
- [80] “Tipo de Aquecimento, Disponível em: [http://az274650.vo.msecnd.net/cmsroot/lmp/media/media-produtos/03/pdf/tipo-de- aquecimento\\_central\\_divisao.pdf](http://az274650.vo.msecnd.net/cmsroot/lmp/media/media-produtos/03/pdf/tipo-de- aquecimento_central_divisao.pdf) Acesso em: 8 de setembro de 2017.” .
- [81] Adene agência para a energia, “Esquentadores e Caldeiras,” 2016.
- [82] M. ADICONSUM, FIRE, APER, CLCV, ADEME, CECU, ESCAN, DECO, ADENE, “EnergBuilding The project,” 2008.
- [83] “Caldeira a gás, Disponível em: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Canalizacao/Caldeiras/17908002.aspx> Acesso em: 28 de setembro de 2017.”
- [84] M. Silva, “Qual o melhor sistema de aquecimento central para a minha casa,” 2017.
- [85] “Aquecimento central e AQS. Disponível em: [http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/aquecimento\\_central\\_e\\_aqs/aconselhamentoaquecimentocentraleaqs](http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/aquecimento_central_e_aqs/aconselhamentoaquecimentocentraleaqs) Acesso em: 30 de setembro de 2017.”
- [86] “Solar Waters energia solar. Disponível em: <http://www.solarwaters.pt/caldeiras-biomassa>. Acesso em: 28 de setembro de 2017.”

- [87] “Caldeiras murais a gás. Disponível em:  
[https://www.google.pt/search?q=caldeira+para+aquecer+a+casa&dcr=0&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjmqRL6ucbWAhVIBsAKHfIUdxwQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgsrc=zL1yR2ZUfUik5M](https://www.google.pt/search?q=caldeira+para+aquecer+a+casa&dcr=0&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjmqRL6ucbWAhVIBsAKHfIUdxwQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgsrc=zL1yR2ZUfUik5M) Acesso em: 27 de setembro de 2017.”
- [88] P. Cabrita and C. Matias, “Gestão de ativos físicos : análise de custos de exploração de equipamentos com base,” Artigo científico, Universidade da Beira Interior, 2017.
- [89] “Sanitop. Disponível em: <https://www.sanitop.pt/Climatizacao/Caldeiras> Acesso em: 6 de outubro de 2017.”
- [90] “Caldeiras murais a gás. Disponível em: <https://www.deco.proteste.pt/casa-energia/aquecimento/dicas/caldeiras-murais-a-gas-faca-bem-as-contas> Acesso em: 6 de outubro de 2017.”
- [91] “Ar condicionado: que equipamento instalar. Disponível em:  
<https://www.deco.proteste.pt/eletrodomesticos/ar-condicionado/dicas/ar-condicionado-que-equipamento-instalar> Acesso em: 29 de setembro de 2017.”
- [92] “Climatização. Disponível em:  
[http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/ar\\_condicionado/aconselhamentoarcondicionado](http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/ar_condicionado/aconselhamentoarcondicionado) Acesso em: 29 de setembro de 2017.”
- [93] “Daikin Altherma Split. Disponível em: <http://www.enat.pt/artigo/daikin-altherma-split> Acesso em: 5 de outubro de 2017.”
- [94] Adene Agência para a Energia, “Ar Condicionado Doméstico,” 2016. .
- [95] “Portal Energia – Energias Renováveis. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-das-bombas-calor-aerotermicas/> Acesso em: 7 de outubro de 2017.”
- [96] “10 vantagens da aerotermia face a caldeiras tradicionais. Disponível em: <http://www.atlantic-conforto.pt/documents/pdf%20Aerotermia%20pt.pdf> Acesso em: 7 de outubro de 2017.”
- [97] “Eficiência Energética – Equipamentos elétricos. Disponível em:  
<http://www.regiaosustentavel.pt/agencia/dicas/104-eficiencia-energetica-equipamentos-eletricos> Acesso em: 29 de setembro de 2017.”
- [98] “Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Diário da República - I Série-A.”
- [99] P. B. Andrade, “Eficiência Energética em Edifícios : Oportunidades e Desafios,” Mestrado Integrado em Engenharia Eletrónica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [100] “Energia solar térmica TISST. Disponível em: <http://www.tisst.net/documentos/sistemas-solares-termicos/tipos-de-sistemas/> Acesso em: 30 de setembro de 2017.”
- [101] “The Anglian Difference – Solar Energy. Disponível em:  
<http://www.anglianhome.co.uk/goodtobehome/company-news/the-anglian-difference-solar-energy/> Acesso em: 30 de setembro de 2017.”
- [102] Adene Agência para a Energia, “Sistema Solar Térmico,” 2016.
- [103] “Como funciona um termoacumulador. Disponível em: <http://www.facavocemesmo.net/como-funciona-um-termoacumulador/> Acesso em: 1 de outubro de 2017.”
- [104] “Esquema circuito solar térmico. Disponível em: <http://sistemasolares.blogs.sapo.pt/24287.html> Acesso em: 1 de outubro de 2017.”
- [105] “Vantagens e desvantagens da energia solar. Disponível em:  
<http://brasilescola.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm> Acesso em: 7 de outubro de 2017.”
- [106] “Esquentador ou cilindro: qual escolher. Disponível em: <http://www.e-konomista.pt/artigo/esquentador-ou-cilindro/> Acesso em: 7 de outubro de 2017.”
- [107] “Climatização eficiente, Plano De Dinamização E Disseminação De Boas Práticas | Eficiência

Energética No Setor Empresarial, 2014.”

- [108] C. Barreiro, “Avaliação da integração de sistemas solares passivos em edifícios,” Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2016.
- [109] S. Costa, “Eficiência Energética de Edifícios : Conceito Passivhaus,” Mestrado Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 2015.
- [110] N. Brandão, “Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios,” Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2008.
- [111] V. Gaspar, “Desempenho energético de edifícios de serviços solares passivos,” Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2013.
- [112] “Inércia térmica. Disponível em: <http://www.futureng.pt/inercia-termica> Acesso em 3 de outubro de 2017.”
- [113] J. Gauna and A. Bengoa, “Guía del estándar Passivhaus Edifícios de consumo energético casi nulo,” 2011.
- [114] “Cálculo de espessuras REH e RECS. Disponível em: <https://www.isover.pt/documentacao/software-programas-de-calculo/calculo-de-espessuras-REH-RECS> Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [115] P. Mendonça and L. Bragança, “Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados,” Doutorado Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.
- [116] Adene Agência para a Energia, “Janelas eficientes,” 2016.
- [117] Adene Agência para a Energia, “Proteções solares,” 2016.
- [118] “Catálogo de soluções construtivas eficientes. Disponível em: [http://www.itecons.uc.pt/catalogosce/index.php?module=edn\\_vaos](http://www.itecons.uc.pt/catalogosce/index.php?module=edn_vaos) Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [119] A. Gomes, “Estudo dos princípios da eficiência energética de um edifício,” Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [120] “Palas de sombreamento . Disponível em: [https://www.google.pt/search?q=palas+de+sombreamento&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin2oDgqr7XAhWBmxQKHAmcBJUQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgc=10IEgksNYZ24WM](https://www.google.pt/search?q=palas+de+sombreamento&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin2oDgqr7XAhWBmxQKHAmcBJUQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgc=10IEgksNYZ24WM): Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [121] “Estores – fabricante de alumínio . Disponível em: <http://www.novoprojecto.pt/estores/> : Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [122] “Tipos de cortinas Disponível em: [https://www.google.pt/search?q=prote%C3%A7oes+interiores+cortinas&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOxsnBrL7XAhUBlxQKHUqtBqAQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgc=5Z6Ys\\_CuK9SnVM](https://www.google.pt/search?q=prote%C3%A7oes+interiores+cortinas&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOxsnBrL7XAhUBlxQKHUqtBqAQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgc=5Z6Ys_CuK9SnVM): Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [123] “Parede de Trombe. Disponível em: <http://www.csustentavel.com/glossary/parede-de-trombe/> Acesso em 3 de outubro de 2017.”
- [124] “Bioclimatismo. Disponível em: <http://www.empresaeeficiente.com/bioclimatismo/> Acesso em: 5 de outubro de 2017.”
- [125] “Passive-On. (2007a). A descrição longa do Passive-On. Passive-On Project, Milão, 8 pp.”
- [126] A. Pereira, “Infiltrações e grau de estanqueidade de um edifício,” Membro sénior da Ordem dos Engenheiros - Especialista em Engenharia de Climatização, 2017.
- [127] J. Martins, “Projeto de ventilação de edifícios de habitação coletiva,” Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2016.
- [128] F. Silva, “Impacto Energético de Ventilação Mecânica e Recuperação de Calor em Edifícios Residenciais de Portugal,” Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2008.

- [129] P. Ferreira, “Sistemas de ventilação híbridos em edifícios - Análise energética resultante da implementação de sistemas de ventilação inovativos,” Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2006.
- [130] M. Sousa, “Análise do desempenho energético de sistemas de ventilação geotérmica,” Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2014.
- [131] C. Abreu, “Regulamentação relativa à qualidade do ar interior - O ambiente interior e a saúde dos ocupantes de edifícios de habitação,” Dissertação Grau Mestre em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.
- [132] “Ventilação natural e condutas de extração. Disponível em: [https://www.google.pt/search?dcr=0&biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=\\_BILWqSXOcXRgAbJ7qCwDg&q=sistema+de+ventila%C3%A7ao+natural&oq=sistema+de+ventila%C3%A7ao+natural&gs\\_l=psy-ab.3...68426.73265](https://www.google.pt/search?dcr=0&biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=_BILWqSXOcXRgAbJ7qCwDg&q=sistema+de+ventila%C3%A7ao+natural&oq=sistema+de+ventila%C3%A7ao+natural&gs_l=psy-ab.3...68426.73265).”
- [133] D. Alves, “Análise Estratégica de Eficiência Energética da Ventilação em Edifícios Residenciais,” Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2009.
- [134] I. Fonseca, T. Casalini, F. Tucci, and A. Battisti, “O Estado da arte sobre o uso da Geotermia na Arquitetura,” *XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Maceió, 2014.
- [135] “AUT 221 Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. FAU USP 2º Semestre, 2011.”
- [136] “ThermoGen Edifícios de baixo consumo energético. Disponível em: <http://thermogen.blogspot.pt/2011/08/edificios-de-baixo-consumo-energetico.html> : : Acesso em: 14 de novembro de 2017.”
- [137] “Ovacen. O que são permutadores de calor. Disponível em: <https://ovacen.com/recuperadores-de-calor-conceptos-basicos-y-definicion/> Acesso em: 6 de outubro de 2017.”
- [138] “Vicot - Bomba de calor geotérmica. Disponível em: <http://vicot.com.pt/8-geothermal-heat-pump.html> Acesso em: 6 de outubro de 2017.”
- [139] “Andira - Bomba de calor geotérmica. Disponível em: <https://www.andira.org.mx/2016/06/23/bomba-de-calor-geotermica/> Acesso em: 6 de outubro de 2017.”
- [140] “Métodos de Cálculo da taxa mínima de fluxo de renovação do ar. Disponível em: <http://teoriadeconstruccion.net/blog/caudal-minimo-rite/> Acesso em: 5 de outubro de 2017.”
- [141] ITeCons, “Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios. Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/> Consultado em Outubro de 2017.” 2017.
- [142] Certificação Energética e Ar Interior, “Certificado Energético Edifício de Habitação SCE126985132,” pp. 1–8.
- [143] “Tarifas baixa tensão normal. Disponível em: <https://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.as> Acesso em: 9 de novembro de 2017.”
- [144] “Diretor-Geral, Pedro Henriques Gomes Cabral, Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, Diário da República, 2ª Série – Nº 234 – 3 de dezembro de 2013.”
- [145] “Guia casa eficiente Disponível em: <http://www.guiacasaeficiente.com/Aquecedores/BombasCalor.html> Acesso em: 29 de setembro de 2017.”
- [146] “Ecodan Soluções Hydrobox. Disponível em: <http://www.pinheirofrio.pt/wp-content/uploads/2014/07/Ar-Condicionado-MITSUBISHI-AQS-ECODAN-Hidrobox.pdf> Acesso em: 29 de setembro de 2017.”
- [147] “Bomba de calor aerotérmica. Disponível em: [http://www.rioenergia.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=4](http://www.rioenergia.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=4) Acesso em: 7 de outubro de 2017.”
- [148] “Clima conforto – Ventilação mecânica com recuperador de calor. Disponível em: <http://www.climaconforto.pt/produtos/146-ventilacao-mecanica-com-recuperacao-de-calor.html> Acesso



em: 8 de outubro de 2017.”

[149] “Decreto-Lei no 79/2006 de 4 de Abril, Diário da República - I Série-A.”

[150] “Opção horária. Disponível em: <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/opcao-horaria/> Acesso em: 9 de novembro de 2017.”

## **ANEXOS**

## A. PANORAMA ENERGÉTICO

### A1. Medidas de Eficiência Energética

Tabela Descrição das medidas de eficiência energética

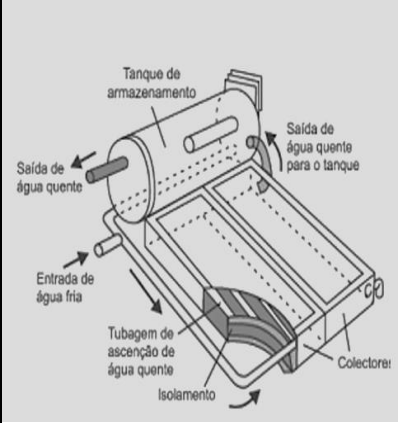
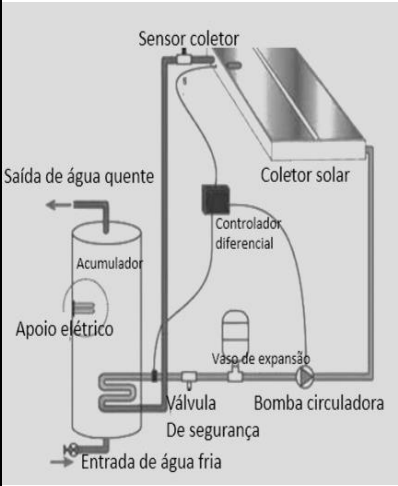
A. 1 Descrição das medidas de eficiência energética

Programa	Descrição das medidas de eficiência energética
<u>Renove Casa &amp; Escritório</u>	Promoção da substituição de eletrodomésticos e de outros equipamentos elétricos para uso doméstico;
	Intervenções relacionadas com a envolvente dos edifícios e tem como finalidade a reabilitação de superfícies envidraçadas, quer através da utilização de vidro duplo, quer da utilização de caixilharia com corte térmico, quer na utilização de vidros eficientes (baixa emissividade);
	Adoção de programas nacionais conducentes à promoção de iluminação eficiente, através da substituição de lâmpadas de baixa eficiência energética;
	Tal como a medida anterior, também contempla intervenções relacionadas com a envolvente: isolamento térmico aplicado sobre coberturas, pavimentos e paredes;
	Incentivar a aplicação de recuperadores de calor, como complemento e alternativa aos meios tradicionais de aquecimento ambiente (lareira aberta).
<u>Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios</u>	O Sistema Certificado Energético obriga a que as novas edificações ou grandes reabilitações alcancem quotas mínimas por classes eficientes (B- a A+);
	Em sede de regulamentação específica poderão ser desenvolvidos mecanismos que potenciem a melhoria da classe energética.
<u>Solar Térmico Residencial</u>	Criação de um mercado sustentado para o setor residencial de 100.000m <sup>2</sup> de coletores solares instalados por ano;
	Revitalizar o parque de equipamentos existentes, criando condições favoráveis para a substituição e/ou reparação especializada.
<u>Solar Térmico Serviços</u>	Criação de um mercado sustentado, traduzido numa instalação de 40.000m <sup>2</sup> de coletores solares por ano.

## B. SISTEMAS ATIVOS

### B1. Vantagens e desvantagens dos sistemas solares térmicos

Tabela B.1 Vantagens e desvantagens dos sistemas solares térmicos

	Vantagens	Desvantagens
<p><b>TERMOSSIFÃO</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mais económico;</li> <li>2. Simples instalação;</li> <li>3. Requer menor manutenção;</li> <li>4. Princípio da gravidade: água quente sobe naturalmente para o acumulador sem recurso a grupo hidráulico;</li> <li>5. Não requerem potência elétrica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acumulador acima do coletor;</li> <li>2. Circulação de água lenta;</li> <li>3. Perdas térmicas;</li> <li>4. Não permitem a regulação da temperatura do depósito.</li> </ol>
<p><b>CIRCULAÇÃO FORÇADA</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Depósito na vertical: melhor estratificação da temperatura – melhor aproveitamento da energia solar;</li> <li>2. Menos perdas térmicas;</li> <li>3. Estética: permitem colocação do depósito em qualquer lugar;</li> <li>4. Regulação do caudal; rapidez na obtenção da água quente;</li> <li>5. Maior eficiência;</li> <li>6. Integração com sistemas de aquecimento central e/ou de piscinas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistemas mais caros;</li> <li>2. Custo elétrico adicional relativo ao funcionamento da bomba circuladora;</li> <li>3. Maior complexidade.</li> </ol>

## C. ANÁLISE SWOT

### C1. Análise da Caldeira Mural

Tabela C.1 Análise SWOT da Caldeira Mural

FORÇAS (PONTOS FORTES)	FRAQUEZAS (PONTOS FRACOS)
<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Gás natural</b> – menos poluente; fácil instalação; o mais seguro na gama de produtos de combustão; requer pouca manutenção; tempo de vida útil elevado; custo de aquisição rapidamente amortizado; oferta diversificada de modelos; satisfaz necessidades até 65kW; equipamento compacto – não necessita de reservatório-[84]; económico; não necessita de depósitos nem botijas; combustão limpa no que respeita ao impacto ambiental[89];</li> <li><b>GPL</b> – garante conforto em termos de AQS [84]; adequado para apartamentos – equipamento compacto; combustão limpa; disponibilidade em garrafas permite o seu abastecimento em qualquer local para o efeito [89];</li> <li><b>Gasóleo</b> – Baixo investimento inicial na aquisição do equipamento [89];</li> <li><b>Biomassa</b> – custo do combustível [84]; o investimento adicional é amortizado em menos de dois anos, quando comparado com caldeira a gás ou gasóleo [86]; poupança até 70% quando comparado com caldeiras a gasóleo [86].</li> <li><b>Caldeiras de Condensação</b> – dimensões mais reduzidas do que caldeiras convencionais; versáteis em termos de potência: 24kW (aquecimento) e 25 a 30kW (AQS); ideal para combinar com controladores e sistemas solares, permitindo a máxima eficiência [85]; reduzidas emissões de CO<sub>2</sub> e de NOx; maior rendimento pelo aproveitamento do calor dos gases de combustão, o que permite reduzir as necessidades de gás e a fatura de combustível [81]; Redução <b>até 30%</b> do consumo de gás, face à caldeira convencional [86].</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Gás e gasóleo</b> – combustíveis fósseis e fonte de energia não-renovável[84]; gás natural – presença na rede pública [89];</li> <li><b>GPL</b> – mais dispendioso e utilização menos cómoda do que com gás natural [78,83];</li> <li><b>Gasóleo</b> – custo energético varia com a instabilidade do custo de petróleo; implicações ambientais; libertação significativa de CO<sub>2</sub> [89];</li> <li><b>Biomassa</b> – a função base do equipamento é aquecimento. Para servir AQS é necessário adicionar acumulador e kit de adaptação; elevada manutenção e limpeza [84];</li> <li>Combustíveis fósseis e biomassa – valor e características variam: resulta numa perda do rendimento, maior gasto energético e económico [96].</li> </ol>
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Gás natural, GPL, gasóleo</b> – sistemas muito avançados tecnologicamente (ex. caldeiras de condensação); soluções compactas, caldeiras muito potentes com dimensões reduzidas[89].</li> <li>2. <b>Gasóleo</b> – teor de enxofre foi fortemente reduzido, não representando nocividade para a qualidade do ar; recentes caldeiras têm rendimentos muito elevados e em média, 40% mais eficientes [89].</li> <li>3. A versão combinada de aquecimento e AQS – única instalação e conduta de extração de gases [84].</li> <li>4. Equipamento tecnologicamente avançado: introdução da gama de caldeiras de condensação e caldeiras cujo combustível é a biomassa; equipamentos com limpeza automática; autonomia do depósito (incorporado na caldeira) em termos de horas de funcionamento, sem carregar; é possível converter caldeira a gasóleo numa caldeira a gás, no entanto, torna-se menos eficiente e mais caro, do que a aquisição de uma caldeira nova [84].</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulamento: Diretivas UE – caldeiras convencionais, sem tecnologia de condensação, descontinuadas [81]</li> <li>2. Introdução das bombas de calor aerotérmicas no mercado – substituição das caldeiras convencionais.</li> <li>3. Este equipamento só compensa, quando existe pré-instalação de aquecimento central [90] – quando não existe, é mais vantajoso optar por um esquentador ou termoacumulador.</li> </ol>
--	---

## C2. Análise da Bomba de Calor

Tabela C.2 Análise SWOT da Bomba de Calor

FORÇAS (PONTOS FORTES)	FRAQUEZAS (PONTOS FRACOS)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Variedade dos sistemas de acordo com as necessidades de cada família, e também com o tipo de edifício;</li> <li>2. Utilização eficiente em edifícios cujas necessidades de aquecimento foram drasticamente reduzidas[145].</li> <li>3. Produz três vezes mais do que aquilo que consome, segundo o COP<sup>35</sup> [84] – bom rendimento instantâneo;</li> <li>4. Independentemente da estação do ano, o equipamento regula a temperatura para o conforto do ocupante [84];</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fortemente condicionada pelas temperaturas exteriores e humidade relativa do ar (ter que se recorrer a uma resistência elétrica de apoio)[84];</li> <li>2. Limitação de temperaturas até 55°C que leva ao impedimento de uso de radiadores ou convetores estáticos tradicionais<sup>40</sup>[84];</li> <li>3. Equipamentos cujo tamanho aumenta consoante a potência [84];</li> <li>4. Ruído causado pelos ventiladores da unidade exterior [95];</li> <li>5. Custo de aquisição do equipamento mais elevado do que a caldeira (5x mais) [84];</li> </ol>

<sup>35</sup> COP: Coefficient of Performance: razão entre a energia produzida e o consumo elétrico. Em arrefecimento, utiliza-se o EER -Energy Efficiency Ratio-.[65].

<sup>40</sup> Para que se possa utilizar este tipo de equipamento interior, estes devem ser bem dimensionados, e deve ser utilizado um esforço complementar do compressor e maior número de períodos de descongelamento, reduzindo assim, quer a sua vida útil quer a sua eficiência [84].

<p>5. Utiliza fonte de energia parcialmente renovável<sup>36</sup></p> <p>6. Fácil instalação [146];</p> <p>7. Sistema ‘amigo’ do ambiente<sup>37</sup> [147];</p> <p>8. Reduzidos custos de manutenção [147];</p> <p>9. Não tem impacto arquitetónico<sup>38</sup>[96];</p> <p>10. Seguro – não utiliza depósitos de armazenamento de combustível [96];</p> <p>11. Qualidade do combustível – eletricidade: valor e características constantes durante o ano [96];</p> <p>12. Temperatura de retorno de aquecimento sem limites<sup>39</sup> [96];</p> <p>13. Custos de instalação mais baixos do que bomba geotérmica [95];</p> <p>14. Reduz a fatura energética até 85%: gasta apenas 20% da energia que seria gasta com resistências elétricas para AQS [86].</p>	<p>6. Para temperaturas inferiores a 7°C a eficiência é mais baixa [95].</p>
<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMEAÇAS</b>
<p>1. Conciliam as funções de climatização e sistema AQS- gerador de calor reversível – fácil instalação e redução do número de equipamentos[78,91];</p> <p>2. Bombas de calor interligadas com sistemas solares – eficiente e poupança até 70%, relativamente às caldeiras [147]</p> <p>3. Desenvolveu o sistema <i>inverter</i> para aumentar a eficiência [78,91];</p> <p>4. Alternativa às caldeiras a gás-devido ao baixo custo de exploração [146].</p>	<p>1. Regulamento: a colocação da unidade exterior pode requerer a autorização do condomínio e, nas zonas de património protegido, ser alvo de restrições por parte da Câmara Municipal[94].</p>

<sup>36</sup> Pode utilizar fontes de energia renováveis como solo, água, ar. No entanto necessita de eletricidade para funcionar. Logo, o equipamento é parcialmente renovável [65].

<sup>37</sup> Capta calor sem alterar nem poluir o ambiente e emissão de CO<sub>2</sub> quase inexistente.

<sup>38</sup> Não necessita de chaminé nem conduta de evacuação de gases.

<sup>39</sup> Como não existe combustão, não são produzidos vapores de água que possam provocar condensações e detritos no equipamento, como tal não só não existe limite de temperatura, como é recomendável que os equipamentos trabalhem à mais baixa temperatura possível, para que desta forma, o seu rendimento (COP) aumente rapidamente.

### C3. Análise dos sistemas Águas quentes sanitárias

Tabela C.3 Análise SWOT dos sistemas de preparação de AQS

FORÇAS (PONTOS FORTES)	FRAQUEZAS (PONTOS FRACOS)
<p><b>Sistema solar térmico [95]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Não polui;</li> <li>2. Manutenção mínima;</li> <li>3. Painéis solares cada vez mais potentes;</li> <li>4. Energia renovável [105];</li> <li>5. Disponibilidade gratuita [105];</li> <li>6. Não emite poluentes [105];</li> <li>7. Reduz a fatura energética até 80% [86]</li> </ol> <p><b>Sistema de apoio – Esquentador [106]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permite ter sempre saída de água quente;</li> <li>2. Apenas consome energia quando a água quente está a ser usada, não tendo custos associados quando não está a ser utilizado;</li> <li>3. Ocupa menos espaço do que um termoacumulador;</li> <li>4. Fácil instalação – requer técnico especializado-;</li> <li>5. A água pode ser regulada entre 35°C e 75°C.</li> </ol> <p><b>Sistema de apoio – Termoacumulador [106]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Possibilitar o benefício das tarifas bi-horárias<sup>41</sup>;</li> <li>2. Acumular água até que seja necessária;</li> <li>3. Permitir escolher a temperatura de saída da água;</li> <li>4. Possibilitar o mesmo caudal de água quente e fria.</li> </ol>	<p><b>Sistema solar térmico[95]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fortemente dependente das condições climáticas;</li> <li>2. Não produz durante a noite;</li> <li>3. Locais com latitudes médias e altas sofrem quedas bruscas de produção durante o inverno;</li> <li>4. Formas de armazenamento são pouco eficientes;</li> <li>5. Custo de aquisição [105].</li> </ol> <p><b>Sistema de apoio – Esquentador[106]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caudal da água quente mais reduzido do que o da água fria, visto que para aquecer a água, a velocidade desta tem que ser reduzida;</li> <li>2. Pode desligar-se durante a sua utilização.</li> </ol> <p><b>Sistema de apoio – Termoacumulador [106]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gasta mais energia, uma vez que há consumo de energia para manter a água quente – mesmo que não seja usada;</li> <li>2. Esperar algum tempo até que a água aqueça para ser utilizada;</li> <li>3. Fornece a quantidade de água limitada à capacidade do reservatório;</li> <li>4. Riscos acrescidos de corrosão, associados a potenciais fugas de água;</li> <li>5. Ocupa mais espaço (devido ao reservatório).</li> </ol>

<sup>41</sup> No caso dos termoacumuladores elétricos, permite que a água seja aquecida às horas em que as tarifas elétricas são mais baixas.



OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
<b>Sistema Solar térmico [95]:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Excelente em lugares distantes de centros de produção energética ou de difícil acesso;</li> <li>2. Utilização eficiente em países tropicais, como Brasil – praticamente todo o território.</li> <li>3. Possibilidade de sistemas solares térmicos combinados: águas quentes sanitárias e piscina aquecida ou águas quentes sanitárias, piscina aquecida e aquecimento central;</li> <li>4. Ideais para aplicações individuais e coletivas [86].</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Críticos da energia solar questionam a produção dos equipamentos, nomeadamente as placas solares – coletores- que resulta numa grande extração de minérios – zinco, por exemplo. Como tal, é necessário criar medidas que controlem a geração das matérias-primas, caso contrário pode resultar no prejuízo ambiental [105].</li> </ol>

#### C4. Análise dos sistemas de ventilação

Tabela C.4 Análise SWOT dos sistemas de ventilação

FORÇAS (PONTOS FORTES)	FRAQUEZAS (PONTOS FRACOS)
<b>Ventilação mecânica com recuperador de calor (VMRC) [116,127]:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ventilação consistente durante todo o ano;</li> <li>2. Recupera calor presente no ar poluído;</li> <li>3. No inverno, pré-aquece, reduzindo as necessidades de aquecimento. No verão, ocorre a entrada direta do escoamento de ar no edifício e arrefecimento passivo;</li> <li>4. A eficiência dos recuperadores pode chegar a 95%;</li> <li>5. Permite conciliar a redução do consumo de energia primária e uma adequada qualidade do ar interior nos edifícios;</li> </ol>	<b>Ventilação mecânica com recuperador de calor (VMRC) [128]:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A eficiência do sistema está fortemente dependente das características do recuperador e das condições de operação;</li> <li>2. Condensações, formação de gelo e geada que podem ocorrer num permutador de calor;</li> <li>3. Queda de pressão para o fluxo de ar num permutador de calor<sup>44</sup>;</li> </ol> <b>Ventilação geotérmica (SVG) [119,122]:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacidade de aquecimento e arrefecimento inferiores à dos sistemas de climatização convencionais;</li> <li>2. Movimentação de terras – dispendioso -;</li> <li>3. Fortemente condicionado pelas condições externas do local onde está instalado –</li> </ol>

<sup>44</sup> Que por sua vez está dependente da geometria da rede de condutas, caudal mássico, temperatura, mistura e das ligações de admissão e rejeição do ar.

<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Humidade controlada<sup>42</sup>;</li> <li>7. Ambiente interior sem poeiras e alergénicos;</li> <li>8. Renovação contínua do ambiente interior com ar fresco aquecido;</li> <li>9. Extração de odores desagradáveis;</li> <li>10. Remoção de gases cancerígenos.</li> </ol>	<p>condutividade térmica do solo, níveis de radiação solar, temperatura do solo e ar exterior, e humidade relativa-;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Qualidade do ar ventilado pode ser afetado pela temperatura e humidade relativa do ar exterior;</li> <li>5. Desenvolvimento de organismos no verão<sup>45</sup>;</li> <li>6. Instalação de um sistema de bombagem para efetuar a drenagem das águas recolhidas – aumento do consumo de energia;</li> <li>7. Nas estações intermédias, a energia utilizada para manter o sistema em funcionamento é superior à trocada no solo, no entanto deve-se manter o funcionamento mínimo, de forma a evitar a estagnação do ar no interior das tubagens;</li> <li>8. Custo de instalação elevado.</li> </ol>
<p><b>Ventilação geotérmica (SVG)</b> [119,122]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Redução dos custos de aquecimento e arrefecimento;</li> <li>2. Dispensa a utilização de equipamentos termodinâmicos ou compressores – requer apenas uma pequena quantidade de energia elétrica para o funcionamento do ventilador;</li> <li>3. Sistema parcialmente renovável<sup>43</sup></li> <li>4. Baixos custos de manutenção;</li> <li>5. Grande durabilidade – cerca de 40 anos;</li> <li>6. Tecnologia com menor impacto ambiental;</li> <li>7. Promove a ventilação do edifício – renova o ar sem prejudicar a eficiência térmica do edifício (estanqueidade da envolvente);</li> <li>8. Redução das perdas energéticas;</li> <li>9. Melhoria da qualidade do ar interior – utilização de filtros;</li> <li>10. Bomba de calor – sistema reversível: permite aquecer e arrefecer quando necessário;</li> <li>11. Sistemas: horizontais – fáceis de instalar; verticais – não precisam de grande superfície de terreno;</li> <li>12. Investimento recuperado a longo prazo.</li> </ol>	

<sup>42</sup> Evita condensações superficiais e interiores na envolvente, responsáveis pelos efeitos patológicos na construção e crescimento de microrganismos nocivos à saúde.

<sup>43</sup> Utiliza fontes de energia renováveis (ar e solo), no entanto, precisa de um pouco de eletricidade para funcionar.

<sup>45</sup> Durante o verão, a condensação da humidade do ar exterior, ao ser arrefecido no interior das tubagens, cria as condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos – para evitar, deve-se dispor as tubagens com inclinação mínima de 2%.

OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
<p><b>Ventilação mecânica com recuperador de calor (VMRC):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A junção do recuperador de calor à ventilação geotérmica, resulta na maior eficiência do sistema.</li> </ol> <p><b>Ventilação geotérmica (SVG):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema eficiente alternativo ou complemento válido aos sistemas de climatização convencionais;</li> <li>2. Economia – O setor da geotermia é criador de empregos nas áreas de pesquisa geológica, engenharia civil, térmica, etc. [135].</li> </ol>	<p><b>Ventilação mecânica com recuperador de calor (VMRC):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulamento – Decreto-Lei nº79/ 2006 de 4 de Abril – obrigatório o recurso a recuperação de calor, sempre que a potência térmica de rejeição em condições de projeto seja superior a 80kW, exceto em casos de projetos onde se verifica a não viabilidade económica da sua instalação [149].</li> </ol>

**D.      DESENHO E ELEMENTOS DA ARQUITETURA – PLANTAS – COM  
MARCAÇÃO DA ZONA ÚTIL/NÃO ÚTIL E ENVOLVENTES – E ALÇADOS**



## E. LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

### E1. Área dos compartimentos

Tabela E.1 Área dos compartimentos do edifício

DIVISÃO	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Hall de entrada	17,70
Cozinha	14,58
Arrumos	5,46
Sala de jantar	17,50
Sala de estar	16,90
Escritório	11,60
Quarto de banho 1	3,90
Sala de estudo	14,60
Quarto de banho 2	2,70
Circulação de escadas	8,30
Hall dos quartos	21,40
Suite (zona de dormir)	12,30
Suite (zona de vestir)	14,30
Quarto de banho 3	8,60
Quarto 1	15,30
Quarto 2	15,80
Quarto de banho 4	7,80
<b>Total</b>	208,74

### E2. Envoltente Exterior

#### 1. Paredes Exteriores

Tabela E.2 Área das paredes exteriores

ORIENTAÇÃO DA PAREDE	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA A DEDUZIR (VÃOS, PTP) (m <sup>2</sup> )	ÁREA EFETIVA (m <sup>2</sup> )
Norte	64,94	7,02	57,92
Sul	75,09	15,52	59,57
Este	38,11	24,26	13,85
Oeste	69,17	29,22	39,95

#### 2. Pavimentos e cobertura exteriores

Tabela E.3 Área dos pavimentos e coberturas exteriores

<b>Pavimentos exteriores</b> – varandas e pavimento descendente-	25,86m <sup>2</sup>
<b>Cobertura exterior</b>	163,04 m <sup>2</sup>

## 3. Vão envidraçados exteriores

Tabela E.4 Área dos vãos envidraçados exteriores

Divisão	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )
Cozinha	Oeste	5,94
Sala de jantar	Oeste	11,64
Escritório	Sul	4,13
Sala de estudo	Sul	4,13
Circulação de escadas	Este	2,96
Hall dos quartos	Sul	3,12
Suite (zona de dormir)	Oeste	11,64
Suite (zona de vestir)	Sul	4,13
Quarto de banho 3	Norte	2,34
Quarto 1	Este	10,65
Quarto 2	Este	10,65
Quarto de banho 4	Norte	2,34
Suite (zona de vestir)	Norte	2,34

## 4. Pontes térmicas lineares exteriores

O cálculo das pontes térmicas lineares, foi realizado de acordo com a metodologia simplificada, incorporada na plataforma *IteCons*.

Tabela E.5 Pontes térmicas lineares exteriores

Tipo de ligação entre elementos	Comprimento B (m)	$\Psi$ (solução)	$\Psi$ (referência)	B $\times\Psi$
Fachada com pavimento sobre exterior ou ENU	32,21	0,70	0,50	22,55
Fachada com pavimento intermédio	54,24	0,70	0,50	37,97
Fachada com cobertura	26,48	0,70	0,50	18,54
Duas paredes verticais em ângulo saliente	18,20	0,50	0,40	9,10
Duas paredes verticais em ângulo saliente	10,40	0,50	0,40	5,20
Fachada com caixilharia	20,68	0,30	0,20	6,20
Fachada com caixilharia	186,58	0,30	0,20	55,97
<b>Total</b>	348,79	-	-	155,53

## E3. Envoltente Interior

## 1. Paredes e pavimentos interiores que contactam com zona não útil

Tabela E.6 Área de paredes e pavimentos interiores que contactam com zona não útil

Espaço não útil	Área (m <sup>2</sup> )	Área envidraçada	Área efetiva (m <sup>2</sup> )
Pavimento que contacto com a garagem	34,80	-	34,80
Parede que contacta com a garagem	28,50	0	28,50

## F. REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO

### F1. Introdução das soluções dos elementos construtivos no programa do IteCons e Classe energética inicial

Tabela F.1 Resultado das necessidades de energia e classe de eficiência energética inicial

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	136,50	67,24	1,84 Classe Energética <b>D</b>
Nvc	11,67	7,24	
Qa	2972	2972	
Ntc	388,43	211,60	

### F2.1. Classe de eficiência energética pós-implementação das medidas de melhoria passivas

Tabela F.2 Resultados das necessidades de energia e classe de eficiência energética pós-implementação das medidas de melhoria passivas

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	59,86	64,73	0,94 Classe Energética <b>B-</b>
Nvc	7,34	7,24	
Qa	2972	2972	
Ntc	193,23	205,32	

### F2.2. Satisfação das necessidades de ventilação

Tal como enunciado no caso de estudo, é importante analisar duas situações de ventilação possíveis: aberturas de admissão na envolvente e condutas de exaustão – por ventilação natural - e ventilação mecânica com recuperador de calor. Para isso, utiliza-se o programa de cálculo do IteCons, que respeita a norma *EN 15242* e o *Despacho 15793-K*. O programa, verifica automaticamente o caudal mínimo necessário para o cumprimento dos requisitos. Como tal, segue-se os resultados obtidos nas duas situações.

**Solução 1** – Aberturas de admissão na envolvente e três condutas de ventilação natural para exaustão

Foram apresentados diferentes tipos de abertura e caudal mínimo necessário que cumprem os requisitos mínimos da taxa de renovação horária. São eles:

Tabela F.3 Valores de dimensionamento da satisfação das necessidades de ventilação

Valores de dimensionamento				
Fixa ou regulável manualmente cm <sup>2</sup>	Auto- regulável a 2Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 10Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 20Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 50Pa m <sup>3</sup> /h
705,5	420,61	624,1	895,5	-



Tendo em conta a diferença média de pressões na fachada, considera-se que a solução que melhor se adequa é a abertura auto-regulável a 2Pa, com um caudal de 420,61 cm<sup>3</sup>/h.

Relativamente às condutas de ventilação de exaustão, estas foram dimensionadas para serem colocadas nos locais que seja importante a ventilação e que não possua janelas. Neste caso, são colocadas nas duas casas de banho e no compartimento da cozinha (arrumos).

Com a aplicação desta solução, as necessidades de energia úteis para aquecimento subiram e excederam as necessidades do edifício de referência – **N<sub>ic</sub> = 70.10 kWh/m<sup>2</sup>.ano**, e consecutivamente a classe de eficiência desceu para a classe **C** (N<sub>tc</sub>/N<sub>t</sub>=1.06). Como tal, de forma a diminuir a necessidade de aquecimento, opta-se por melhorar as soluções construtivas relativas às paredes e cobertura exteriores, aumentando 3 e 5 centímetros ao isolamento térmico, respetivamente. Com o aumento dos isolamentos, verifica-se a diminuição do coeficiente de transmissão térmica. Uma vez que se trata de uma diferença ligeira, a adoção de um equipamento técnico de aquecimento não é necessária, dado que com a aplicação das melhorias ao nível do isolamento, as necessidades são colmatadas.

#### 1.1. Aumento de 5 cm de lã mineral (MW) na cobertura exterior – Fluxo Ascendente/Descendente

Tabela F.4 Descrição e alteração da solução da cobertura - Fluxo ascendente e descendente

Cobertura – Fluxo Ascendente/ Descendente	Componentes	Espessura (m)	Condutibilidade térmica	R <sub>t</sub>	U
	Ser	-	-	0,04	<b>0,32/0,31</b>
	Geotêxtil	-	-	-	
	Impermeabilização	0,008	0,23	0,03	
	Camada de regularização	0,1	2	0,05	
	Laje	-	-	0,21/0,23	
	Caixa de ar	0,1	-	0,16	
	Isolamento MW	<b>0,1</b>	0,04	2,5	
	Gesso cartonado	0,013	0,25	0,052	
	Rsi	-	-	0,10	

## 1.2. Aumento de 3 cm de EPS – poliestireno expandido

Tabela F.5 Descrição e alteração da solução das paredes exteriores

<b>Paredes Exteriores</b>	<b>Componentes</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>Condutibilidade térmica</b>	<b>R<sub>t</sub></b>	<b>U</b>
	Rse	-	-	0,04	<b>0,30</b>
	Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	
	Isolamento EPS	<b>0,08</b>	0,034	1,622	
	Panos de alvenaria	0,15+0,11	-	0,39	
	Caixa de ar	0,04	-	0,18	
	Estuque de gesso	0,02	0,43	0,0465	
	Rsi	-	-	0.13	

Com o incremento destes isolamentos nas soluções construtivas, verifica-se que as necessidades de aquecimento que anteriormente se encontravam acima do previsto para um edifício de referência, diminuem - **Nic = 62.31 kWh/m<sup>2</sup>.ano-**. Esta redução verificada, traduz-se no aumento da classe de eficiência energética para **B-** (Ntc/Nt=0.96).

Tabela F.6 Resultados das necessidades de energia e classe de eficiência energética da Solução 1 de Ventilação

<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>	<b>Ntc/Nt</b>
<b>Nic</b>	62,31	64,73	<b>0,96</b> Classe Energética <b>B-</b>
<b>Nvc</b>	5,73	7,24	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Ntc</b>	198,00	205,32	



#### **F.2.2.1. Satisfação das necessidades de ventilação**



### **Solução 2** – Ventilação mecânica com recuperador de calor

Nesta solução, admite-se a exaustão ou insuflação por meios mecânicos. Como tal, no tipo de escoamento considera-se a admissão e exaustão do ar. Para que verifique os requisitos mínimos da taxa de renovação horária, é necessário um caudal de **215m³/h** para cada escoamento. Relativamente ao recuperador de calor, admite-se que atinge **95%** do seu rendimento. Para além disso, é constituído pelo sistema by-pass do recuperador de calor no verão, que é responsável pelo arrefecimento passivo nas noites de verão. Com a aplicação desta medida, resulta no seguinte conjunto de informações.

Tabela F.7 Resultado das necessidades de energia e classe de eficiência energética da Solução 2 de Ventilação

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,33	64,73	<div>1.03</div> <div>Classe Energética</div> <div>C</div>
Nvc	6,39	7,24	
Qa	2972	2972	
Wvm	1130,04		
Ntc	212,15	205,32	

### **F2.3. Instalação do sistema AQS**

#### **Solução 1** - Dimensionamento do sistema solar térmico individual – Termosifão

#### **Volume do depósito de armazenamento**

Considerando que habitam **5** pessoas no edifício a reabilitar e que o consumo médio diário por ocupante são 40 litros:

$$Depósito = Consumo\ diário\ por\ ocupante \times n^o\ ocupantes \quad (8)$$

$$Depósito = 40 \times 5 = 200 \text{ Litros.}$$

#### **Área necessária de abertura do painel**

Sabendo que um coletor consegue aquecer em média 75 a 100 litros de água:

$$Depósito\ (L) /_{100} \leq Área \leq Depósito\ (L) /_{75} \quad (8)$$

$$2 \text{ a } 2,7 \text{ m}^2 \text{ de área de abertura do painel.}$$

Considerando a área de abertura calculada, opta-se pela utilização de **um** coletor da marca *Zantia* e modelo *Z2.3/ 71-25*, em que cada painel tem uma área de  $2.33\text{m}^2$ , como tal, suprime as necessidades do edifício em estudo. Com a introdução deste sistema, verifica-se que a energia produzida a partir de fontes renováveis para produção AQS é de **2166 kWh/ano**.

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico				1
O certificado do colector Zantia Z 2.3/71-25 (011-751680 R) está caducado.				
Sumário				
Instalação em Rua da Costa (Leiria)				
1 coletores Zantia Z 2.3/71-25				
» painel com é 2,33 m <sup>2</sup> (inclinação 35° e azimute 0°)				
» depósito de 200 l, modelo exemplo 200 L				
Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)		Indicadores principais (sistema solar)		
Energia útil solicitada: 2 971 kWh		rendimento: 57%		
- satisfeitas por origem solar 2 166 kWh		73%	de fração solar	produtividade: 930 kWh/m <sup>2</sup>
- satisfeitas pelo apoio 805 kWh		27%		perdas: 26%

Figura F.1 Dimensionamento painel solar térmico Leiria

Tabela F.8 Desempenho dos coletores solares térmicos na preparação de AQS

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1732,80	0,8	2,33	929,61	400

Tabela F.9 Resultado das necessidades de energia e classe energética do Termossifão

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
<b>Nic</b>	62,31	64,73	<b>0,86</b>  Classe Energética  <b>B-</b>
<b>Nvc</b>	5,73	7,24	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	1733	1300	
<b>Eren AQS</b>	1733	1300	
<b>Ntc</b>	176,16	205,32	

### **Solução 2** – Esquentador (equipamento mais utilizado a nível nacional) + Termossifão

Para esta solução, opta-se pelo Esquentador da Gama *Sensor Atmosférico* da *Vulcano*, com uma capacidade de 18 litros, uma vez que deve abastecer a cozinha e quatro casas de banho. Este equipamento deve ser solicitado quando as condições atmosféricas não permitam o funcionamento eficaz do sistema solar térmico – termosifão-, e como tal, atua como um sistema

de apoio, que estará apto para servir, sempre que preciso, durante todo o ano. Por essa razão, o sistema solar térmico deve contribuir com 80% do seu funcionamento para a produção de água quente. Relativamente às características do sistema solar térmico, são usados os mesmos dados do dimensionamento da primeira solução.

Tabela F.10 Contribuição do sistema de apoio Esquentador na preparação de AQS

<b>Esquentador</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	19,2	0,2	5,23	52,64

Tabela F.11 Contribuição dos coletores solares térmicos na preparação de AQS

<b>EREN (kWh/ano)</b> <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1732,80	0,8	2,33	929,61	400

Tabela F.12 Resultado das necessidades de energia e classe energética da combinação do Termossifão + Esquentador

<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>	<b>Ntc/Nt</b>
<b>Nic</b>	62,31	64,73	<b>0,86</b> Classe Energética <b>B-</b>
<b>Nvc</b>	5,73	7,24	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	1733	1300	
<b>Eren AQS</b>	1733	1300	
<b>Ntc</b>	173,29	201,03	

## F2.4. Simulação dos Sistemas de Aquecimento

### Solução 1 – Caldeira para aquecimento central

Tabela F.13 Contribuição da caldeira para o aquecimento central

<b>Caldeira</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	31	1	5,31	2449,24



Tabela F.14 Contribuição dos coletores solares térmicos na preparação de AQS

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1732,80	0,8	2,33	929,61	400

Tabela F.15 Resultado das necessidades de energia e classe energética da caldeira para aquecimento central

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,28</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	1733	1300	
Eren AQS	1733	1300	
Ntc	32,13	116,22	

**Solução 2 – Sistema Multi-Split**

Tabela F.16 Desempenho do Sistema multi-split para aquecimento

<b>Multi-Split 4x1</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	11	1	3,8	3422,49

Tabela F.17 Desempenho do Esquentador para preparação de AQS

<b>Esquentador</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	19,2	0,2	5,23	52,64

Tabela F.18 Necessidades de energia e classe energética do Multi-split

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,67</b> Classe Energética <b>B</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	1733	1300	
Eren AQS	1733	1300	
Ntc	58,51	86,80	

## F2.5. Medidas de Melhoria

### Soluções 1 e 2 – Multi-Split e conjunto de 6 painéis fotovoltaicos com e sem autoconsumo

#### Dimensionamento do Pannel Fotovoltaico

Dimensionou-se o pannel fotovoltaico para que produzisse cerca de 10% (1kW) da energia elétrica consumida pelo sistema multi-split. Assim, considerou-se o sistema fotovoltaico com 6 painéis de 100W da *Marca Schuco MPE 100 AL 01*, com uma área de 8,6m<sup>2</sup>.

Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico			
Sumário			
Instalação em Rua da Costa (Leiria)	energia solar incidente:	16 040 kWh/ano	Índices de desempenho
8,6 m <sup>2</sup> de módulos Schuco MPE 100 AL 01	produção fotovoltaica potencial (DC):	1 087 kWh/ano	produtividade técnica: 1653 kWh/kW instalado
montagem fixa	perdas de sistema (DC):	-29 kWh/ano	aproveitado: 488 kWh/kW instalado
com inclinação 40° e orientação 0°.	perdas e consumos parasíticos (AC):	-37 kWh/ano	rendimento relativo: 94% (performance ratio)
Potência: 0,6 kW (nominal)	produção (AC):	989 kWh/ano	i.e. 6% da energia incidente
	autoconsumo (AC):	293 kWh/ano	necessidades cobertas: 20%
Local e clima			

Figura F.2 Dimensionamentos dos painéis solares fotovoltaicos Leiria

Sistema instalado em	Rua da Costa	(Leiria)
Utilizados	6	módulos fotovoltaicos Schuco MPE 100 AL 01 (100 W)
em	1	string de potência nominal 1,0 kW (8 m <sup>2</sup> ), montagem fixa
orientação	0 °	em azimute e 40 ° em inclinação.
Bloco inversor/controlador	geral - 97% eficiência	com eficiência 97,0%
Perdas de eficiência PV por variação espectral de	0,5%	
Perdas por problemas de limpeza dos painéis de	0,5%	
Perdas em interconexões	1,0%	e outras perdas resistivas gerais 0,7%
Auto-consumos de	0 kWh	em ventiladores e 0 kWh em seguimento do sol
Tempo diurno gasto em resolução de avarias e manutenção de	6	horas por ano
Perdas adicionais na ligação à rede de	0,5%	
Sistema explorado em modo de	autoconsumo	

Tabela F.19 Produção do sistema solar fotovoltaico

Produção Total de Energia (kWh/ano)	Produção (kWh/ano)	
1087	989	
	Autoconsumo	Injeção na rede pública (Eren Ext)
	293	697

Tabela F.20 Desempenho do sistema multi-split com e sem painéis fotovoltaicos

Multi-Split	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	EREN (kWh/ano)		Consumo da Energia final (kWh/ano)	
Aquecimento	11	1	3,80	0	293	3422,49	3345,38

Tabela F.21 Venda da totalidade da energia produzida À rede

Venda da totalidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos					
Energia consumida no local (kWh/ano)	Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (kWh/ano)	Energia consumida $\geq$ 50% da energia produzida?	€/kWh 90% do Preço médio da eletricidade (Mês Outubro)	€/kWh (Defeito)	Valor ganho da venda total (€/ano)
3422,49	1087	Ok!	0,49	0,45	489,15

**1º Caso:** Painéis fotovoltaicos sem autoconsumo (AC) /

**2º Caso:** Painéis fotovoltaicos com autoconsumo (AC)

Tabela F.22 Necessidades de energia e classe energética do multi-split com e sem painéis fotovoltaicos para autoconsumo

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	0,67/0,66 Classe Energética <b>B</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	1733/2026	1300	
Eren AQS	1733	1300	
Eren Ext	1087/697		
Ntc	58,51/57,59	86,80	

#### **Solução 4** – Sistema combinado – Sistema solar térmico e caldeira

##### **Dimensionamento do Pannel Solar Térmico**

O sistema solar térmico foi dimensionado de forma semelhante ao Termosifão da primeira solução, sendo que desta vez, se escolheu um sistema de circulação forçada, que suprime as necessidades tanto de AQS como climatização. Assim sendo, utiliza-se **1** coletor da marca *Zantia* e modelo *Z2.3/ 71-25*, cujo painel apresenta uma área de 2.33m<sup>2</sup>.

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico				1/:
O certificado do colector <i>Zantia Z 2.3/ 71-25</i> (U11-/S168U H) esta caducado.				
Sumário				
Instalação em Rua da Costa (Leiria) 1 coletores <i>Zantia Z 2.3/71-25</i> » painel com $\epsilon$ 2,33 m <sup>2</sup> (inclinação 35° e azimute 0°) » depósito de 200 l, modelo exemplo 200 L				
Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH) e climatização Energia útil solicitada: 9 072 kWh - satisfeitas por origem solar <b>2 246 kWh</b> 25% de fração solar - satisfeitas pelo apoio 6 826 kWh 75%				
Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 58% produtividade: 964 kWh/m <sup>2</sup> perdas: 19%				

Figura F.3 Dimensionamento do sistema solar térmico Leiria

Tabela F.23 Desempenho da caldeira para preparação AQS e aquecimento

<b>Caldeira</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	22	1,0	5,64	2305,93
AQS	28	0,2	5,10	51,19

Tabela F.24 Desempenho do sistema solar térmico na preparação de AQS

<b>EREN (kWh/ano)</b> <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1796,80	0,8	2,33	963,95	400

Tabela F.25 Resultado das necessidades e classe energética da combinação da caldeira para AQS e aquecimento

<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>	<b>Ntc/Nt</b>
<b>Nic</b>	62,31	64,73	<b>0,25</b> Classe Energética <b>A+</b>
<b>Nvc</b>	5,73	7,24	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	1797	1300	
<b>Eren AQS</b>	1797	1300	
<b>Ntc</b>	27,92	111,93	

**Soluções 3 e 5** – Salamandra a Biomassa sem e com distribuição

Tabela F.26 Desempenho da salamandra a biomassa sem distribuição

Função	Potência (kW)	Eficiência do Equipamento (COP)	EREN (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)
Aquecimento sem distribuição	9	5,34	2435,48	2435,48

Tabela F.27 Desempenho da salamandra a biomassa com distribuição

Função	Potência (kW)	Eficiência do Equipamento (COP)	EREN (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)
Aquecimento com distribuição	12,2	5,52	2356,06	2356,06

Tabela F.28 Desempenho da salamandra a biomassa para preparação de AQS

Salamandra a biomassa	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	12,2	0,2	5,52	47,29

Tabela F.29 Resultado das necessidades de energia e classe energética da salamandra a biomassa

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	<b>62,31</b>	64,73	<b>0,16/0,15</b> Classe Energética <b>A+</b>
Nvc	<b>5,73</b>	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	4168/4200	1300	
Eren AQS	1733/1844	1300	
Ntc	16,63	111,93	

**Solução 6** – Bomba de calor ar/água com depósito integrado + Painel solar térmico

Tabela F.30 Desempenho da bomba de calor ar/água para aquecimento e AQS

Bomba de calor	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	8,3	1,0	4,08	3187,61
AQS	8	0,3	3,33	140,08

Tabela F.31 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m²)	Produtividade dos coletores (kWh/m²)	Produtividade de referência (kWh/m²)
<b>Painel Solar Térmico</b>				
1572,20	0,7	2,33	963,95	400

Tabela F.32 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor ar/água

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,63</b> Classe Energética <b>B</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	1572	1300	
Eren AQS	1572	1300	
Ntc	56,98	90,01	

**Solução 7** – Caldeira com Bomba de calor ar/água com depósito integrado + painel solar térmico

Tabela F.33 Desempenho da caldeira para AQS e aquecimento

<b>Caldeira de condensação a gás</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	25	0,3	5,64	691,78
AQS	25	0,2	5,10	51,19

Tabela F.34 Desempenho da bomba de calor ar/água para aquecimento

<b>Bomba de calor ar-água</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	8,3	0,7	4,08	2231,33

Tabela F.35 Desempenho do painel solar térmico

<b>EREN (kWh/ano) Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1796,80	0,8	2,33	963,95	400

Tabela F.36 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba + caldeira

<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>	<b>Ntc/Nt</b>
<b>Nic</b>	62,31	64,73	<b>0,48</b> Classe Energética <b>A</b>
<b>Nvc</b>	5,73	7,24	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	1797	1300	
<b>Eren AQS</b>	1797	1300	
<b>Ntc</b>	46,91	98,78	

**Solução 9** – Bomba de calor água/água (geotérmica) para AQS e aquecimento + Pannel solar térmico

Tabela F.37 Desempenho da bomba de calor água/água para AQS e aquecimento

<b>Bomba de calor água-água</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	6,9	1	4,09	3179,82
AQS	4,09	0,2	4,09	63,82

Tabela F.38 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1796,80	0,8	2,33	963,95	400

Tabela F.39 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor água/água

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,72</b> Classe Energética <b>B</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	1797	1300	
Eren AQS	1797	1300	
Ntc	55,47	77,54	

**Solução 10** – Bomba de calor água/ água para aquecimento + termossifão com esquentador

Tabela F.40 Desempenho da bomba de calor água/água para aquecimento

Bomba de calor água-água	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	6,95	1	4,9	2654,18

Tabela F.41 Desempenho do esquentador para AQS

Esquentador	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	19,2	0,2	5,23	52,64

Tabela F.42 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1732,80	0,8	2,33	929,61	400

Tabela F.43 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor água/água

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,63</b> Classe Energética <b>B</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	2023	1300	
Eren AQS	1733	1300	
Ntc	49,31	78,19	

**Solução 8** - Caldeira a biomassa + Sistema solar térmico

Tabela F.44 Desempenho da caldeira a biomassa para aquecimento e AQS

Caldeira a biomassa	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	30	1	5,46	2381,95
AQS	30	0,2	5,46	47,81

Tabela F.45 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) Painel Solar Térmico	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m²)	Produtividade dos coletores (kWh/m²)	Produtividade de referência (kWh/m²)
1796,80	0,8	2,33	963,95	400

Tabela F.46 Resultado das necessidades de energia e classe energética da caldeira a biomassa

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	62,31	64,73	<b>0,15</b> Classe Energética <b>A+</b>
Nvc	5,73	7,24	
Qa	2972	2972	
Eren	4227	1300	
Eren AQS	1845	1300	
Ntc	16,63	111,93	





## **G. EDIFÍCIO NOVO**

### **G1.1. Soluções dos elementos construtivos, determinação da resistência e cálculo da inércia térmica**



## G1.2 Introdução das soluções dos elementos construtivos no programa do IteCons e Classe energética inicial

Tabela G.1 Resultado das necessidades de energia e classe energética inicial

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,71	56,18	<b>0,45</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	0	0	
Eren AQS	0	0	
Ntc	91,56	203,38	

## G1.3 Satisfação das necessidades de ventilação

**Solução 1** – Ventilação natural: aberturas de admissão na envolvente e três condutas de ventilação natural para exaustão

Tabela G.2 Valores de dimensionamento para satisfação dos requisitos de ventilação

Valores de dimensionamento				
Fixa ou regulável manualmente cm <sup>2</sup>	Auto- regulável a 2Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 10Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 20Pa m <sup>3</sup> /h	Auto- regulável a 50Pa m <sup>3</sup> /h
542,7	<b>379,9</b>	479,9	678,4	-

Tabela G.3 Resultado das necessidades de energia e classe energética da Solução 1 de ventilação

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,45</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	0	1300	
Eren AQS	0	1300	
Ntc	91,61	203,46	



#### **G1.3.1. Satisfação das necessidades de ventilação**



## Solução 2 – Ventilação mecânica com recuperador de calor

Tabela G.4 Resultado das necessidades de energia e classe energética da solução 2 de ventilação

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,39	56,76	<div>0,51</div> <div>Classe Energética</div> <div>B</div>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Wvm	1130,04		
Ntc	104,29	208,82	

## G1.4. Instalação do sistema AQS

### Solução 1 - Termossifão

Dimensionou-se o painel para o mesmo número de pessoas que foi considerado no edifício de reabilitação. Como tal, a área de abertura do painel deve estar compreendida entre 2 e 2,7m<sup>2</sup>. Utiliza-se assim o painel da mesma marca e modelo – *Zantia Z 2.3/ 71-25*. Verifica-se que a energia produzida para produção AQS é de **2261** kWh/ano.

Sumário			
Instalação em Chainha (Évora)		Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)	
1 coletores Zantia Z 2.3/71-25		Energia útil solicitada: 2 971 kWh	
» painel com 2,33 m <sup>2</sup> (inclinação 35° e azimute 0°)		- satisfeitas por origem solar <b>2 261 kWh</b> 76% de fração solar	
» depósito de 200 l, modelo exemplo 200 L		- satisfeitas pelo apoio 710 kWh 24%	
		Indicadores principais (sistema solar)	
		rendimento: 58%	
		produtividade: 970 kWh/m <sup>2</sup>	
		perdas: 26%	

Figura G.1 Dimensionamento do painel solar térmico Évora

Tabela G.5 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1808,80	0,8	2,33	970,39	400

Tabela G.6 Resultado das necessidades de energia e classe energética do termossifão

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,34</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	1809	1300	
Eren AQS	1809	1300	
Ntc	68,80	203,46	



**Solução 2** – Esquentador + Termossifão

Tabela G.7 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1808,80	0,8	2.33	970,39	400

Tabela G.8 Desempenho do Esquentador para preparação de AQS

<b>Esquentador</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	19,2	0,2	5,23	49,41

Tabela G.9 Resultado das necessidades de energia e classe energética do esquentador + termossifão

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,34</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	1809	1300	
Eren AQS	1809	1300	
Ntc	66,93	199,16	

**G1.5. Instalação dos sistemas de aquecimento/ arrefecimento****Solução 1** - *Multi-Split*/ Bomba de calor ar-ar

Tabela G.10 Desempenho do sistema multi-split para aquecimento e arrefecimento

<b>Multi-Split</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	EREN (kWh/ano)	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	11	0,10	3,80	180,45	64,45
Arrefecimento	10	0,90	5,10	4497,27	1096,89

Tabela G.11 Resultado das necessidades de energia e classe energética do multi-split

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,29</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	6487	1300	
Eren AQS	1809	1300	
Ntc	55,58	189,24	

## G1.6. Medidas de Melhoria

**Solução 1** – Sistema combinado: Bomba de calor ar-água com depósito integrado + painel solar térmico

Tabela G.12 Desempenho da bomba de calor ar/água para aquecimento, arrefecimento e AQS

Bomba de calor	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	EREN (kWh/ano)	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	8,3	0,10	4,08	184,88	60,02
Arrefecimento	7,1	0,90	2,90	3665,14	1929,02
AQS	8	0,30	3,33	277,15	97,69

O sistema solar térmico foi dimensionado de forma semelhante ao Termosifão da primeira solução, sendo que desta vez, se escolheu um sistema de circulação forçada, que suprime as necessidades tanto de AQS como climatização. Assim sendo, utiliza-se **1** coletor da marca *Zantia* e modelo *Z2.3/ 71-25*, cujo painel apresenta uma área de 2.33m<sup>2</sup>.

Sumário			
Instalação em Chainha (Évora) 1 coletores Zantia Z 2.3/71-25 » painel com 2,33 m <sup>2</sup> (inclinação 35° e azimute 0°) » depósito de 200 l, modelo exemplo 200 L			
Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH) e climatização    Indicadores principais (sistema solar) Energia útil solicitada: 8 451 kWh    rendimento: 59% - satisfeitas por origem solar 2 359 kWh    28% de fração solar    produtividade: 1012 kWh/m <sup>2</sup> - satisfeitas pelo apoio 6 093 kWh    72%    perdas: 20%			

Figura G.2 Dimensionamento do painel solar térmico - Évora

Tabela G.13 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) Painel Solar Térmico	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1887,20	0,7	2,33	1012,45	400

Tabela G.14 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor ar/água

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,35</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	5778	1300	
Eren AQS	1928	1300	
Ntc	65,78	187,45	

**Soluções 2 e 3** - *Multi-Split* + Painéis fotovoltaicos com e sem autoconsumo + termossifão com esquentador

Tabela G.15 Desempenho do multi-split + painéis fotovoltaicos para aquecimento e arrefecimento

Multi-Split	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	EREN (kWh/ano)	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	11	0,10	3,80	180,45	64,45
Arrefecimento	10	0,90	5,10	4497,27	1096,89

Dimensionou-se o painel fotovoltaico para que produzisse cerca de 10% (1kW) da energia elétrica consumida pelo sistema multi-split. Assim, considerou-se o sistema fotovoltaico com 6 painéis de 100W da *Marca Schuco MPE 100 AL 01*, com uma área de 8,6m<sup>2</sup>.

Sistema instalado em **Chainha** (Évora)  
Utilizados **6** módulos fotovoltaicos **Schuco MPE 100 AL 01** (100 W)  
em **1** string de potência nominal 1,0 kW (8 m<sup>2</sup>), **montagem fixa**  
orientação **0°** em azimute e **40°** em inclinação.  
Bloco inversor/controlador **geral - 97% eficiência** com eficiência 97,0%  
Perdas de eficiência PV por variação espectral de **0,5%**  
Perdas por problemas de limpeza dos painéis de **0,5%**  
Perdas em interconexões **1,0%** e outras perdas resistivas gerais **0,7%**  
Auto-consumos de **0** kWh em ventiladores e **0** kWh em seguimento do sol  
Tempo diurno gasto em resolução de avarias e manutenção de **6** horas por ano  
Perdas adicionais na ligação à rede de **0,5%**  
Sistema explorado em modo de **autoconsumo**

Sumário			
Instalação em Chainha (Évora)	energia solar incidente:	16 619 kWh/ano	<b>índices de desempenho</b>
8,6 m <sup>2</sup> de módulos Schuco MPE 100 AL 01	produção fotovoltaica potencial (DC):	1 117 kWh/ano	produtividade técnica: 1676 kWh/kW instalado
montagem fixa	perdas de sistema (DC):	-30 kWh/ano	aproveitado: 485 kWh/kW instalado
com inclinação 40° e orientação 0°.	perdas e consumos parasitários (AC):	-38 kWh/ano	rendimento relativo: 93% (performance ratio)
Potência: <b>0,6</b> kW (nominal)	produção (AC):	1 017 kWh/ano	i.e. 6% da energia incidente
	autoconsumo (AC):	291 kWh/ano	necessidades cobertas: 20%

Figura G.3 Dimensionamento dos painéis solares fotovoltaicos - Évora

Tabela G.16 Venda da totalidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos

Venda da totalidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos					
Energia consumida no local (kWh/ano)	Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (kWh/ano)	Energia consumida $\geq$ 50% da energia produzida?	€/kWh 90% do Preço médio da eletricidade (Mês Outubro)	€/kWh (Defeito)	Valor ganho da venda total (€/ano)
1161,34	1117	Ok!	0,49	0,45	457,65

Tabela G.17 Produção de energia pelos painéis fotovoltaicos

Produção Total de Energia (kWh/ano)	Produção (kWh/ano)	
1117	1017	
	Autoconsumo	Injeção na rede pública (Eren Ext)
	291	726

**1º Caso:** Painéis fotovoltaicos com autoconsumo (AC) /

**2º Caso:** Painéis fotovoltaicos sem autoconsumo (AC)

Tabela G.18 Resultado das necessidades de energia e classe energética do multi-split com e sem autoconsumo

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,28/0,29</b> Classe Energética <b>A/A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	6777/6487	1300	
Eren AQS	1809	1300	
Eren Ext	726/1117,00		
Ntc	52,10/55,58	189,24	

**Solução 4** – Bomba de calor água/água para AQS, aquecimento e arrefecimento + painel solar térmico

Tabela G.19 Desempenho da bomba de calor água/água para AQS, aquecimento e arrefecimento

Bomba de calor água-água	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	14	0,10	4,60	53,24
Arrefecimento	7,1	0,90	5	1118,83
AQS	14	0,2	4,60	47,15

Tabela G.20 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1887,20	0,8	2.33	1012,45	400

Tabela G.21 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor água/água

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	11,73	56,21	<b>0,30</b> Classe Energética <b>A</b>
Nvc	29,78	30,57	
Qa	2972	2972	
Eren	6724	1300	
Eren AQS	2057	1300	
Ntc	54,42	179,71	

**Solução 5** – Bomba de calor água/ água para AQS, aquecimento e arrefecimento com painéis fotovoltaicos

Tabela G.22 Venda da totalidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos

Venda da totalidade da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos					
Energia consumida no local (kWh/ano)	Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (kWh/ano)	Energia consumida ≥ 50% da energia produzida?	€/kWh 90% do Preço médio da eletricidade (Mês Outubro)	€/kWh (Defeito)	Valor ganho da venda total (€/ano)
1161.34	1117	Ok!	0,49	0,45	421.60

Tabela G.23 Desempenho da bomba de calor água/água para aquecimento, arrefecimento e AQS

Bomba de calor água-água	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	14	0,10	4,60	53,24
Arrefecimento (com painéis)	7,1	0,90	5	1040,26
AQS	14	0,2	4,60	47,15

Tabela G.24 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1887,20	0,8	2,33	1012,45	400

Tabela G.25 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor água/água (AQS, aquecimento e arrefecimento)

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
<b>Nic</b>	11,73	56,21	<b>0,28</b> Classe Energética <b>A</b>
<b>Nvc</b>	29,78	30,57	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	7014	1300	
<b>Eren AQS</b>	2057	1300	
<b>Ntc</b>	50,94	179,71	

**Solução 6** – Bomba de calor água/água para arrefecimento e aquecimento + termossifão com esquentador

Tabela G.26 Desempenho da bomba de calor água/água para arrefecimento e aquecimento

<b>Bomba de calor água-água</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
Aquecimento	6,95	0,10	4,60	53,24
Arrefecimento	5	0,90	3,16	1770,31

Tabela G.27 Desempenho do Esquentador para AQS

<b>Esquentador</b>	Potência (kW)	Parcela afeta a função (0 a 1)	Eficiência do Equipamento	Consumo da Energia final (kWh/ano)
AQS	19,2	0,2	5,23	206,55

Tabela G.28 Desempenho do painel solar térmico

EREN (kWh/ano) <b>Painel Solar Térmico</b>	Parcela afeta a função (0 a 1)	Área total de coletores (m <sup>2</sup> )	Produtividade dos coletores (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )
1887,20	0,8	2,33	1012,45	400

Tabela G.29 Resultado das necessidades de energia e classe energética da bomba de calor água/água para aquecimento e arrefecimento

Valor	Valor	Referência	Ntc/Nt
<b>Nic</b>	11,73	56,21	<b>0,35</b> Classe Energética <b>A</b>
<b>Nvc</b>	29,78	30,57	
<b>Qa</b>	2972	2972	
<b>Eren</b>	5903	1300	
<b>Eren AQS</b>	1887	1300	
<b>Ntc</b>	62,65	180,36	